



# ГЕОХИМИЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
ШКОЛА-СЕМИНАР,  
посвященная 150-летию со дня рождения В.И. Вернадского  
(1863–2013)

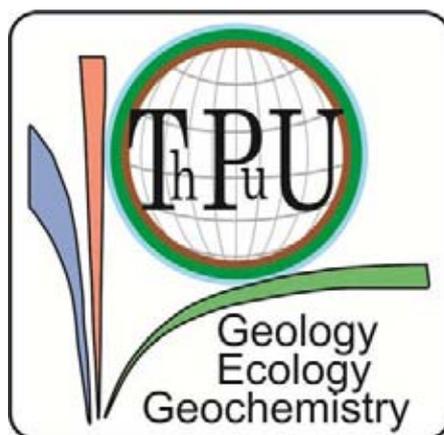
г. Томск, 2–5 июня 2013 г.

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ ШКОЛА-СЕМИНАР  
«ГЕОХИМИЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА»,  
*посвященная 150-летию со дня рождения В.И. Вернадского*  
*(1863–2013)*

---

INTERNATIONAL YOUTH SCHOOL OF  
«GEOCHEMISTRY OF LIVING SUBSTANCE»,  
*dedicated to the 150<sup>th</sup> Anniversary of V.I. Vernadsky*  
*(1863–2013)*

Ministry of Education and Science of the Russian Federation  
Federal State Educational Institution of Higher Professional Education  
National Research Tomsk Polytechnic University  
Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of Russian Academy of Sciences  
Department of Natural Resources and Environment Protection  
Tomsk Regional Public Association "RosGeo"



# GEOCHEMISTRY OF LIVING SUBSTANCE

---

INTERNATIONAL YOUTH SCHOOL,  
dedicated to the 150<sup>th</sup> Anniversary of V.I. Vernadsky  
(1863–2013)

---

Tomsk, June 2–5, 2013

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»  
Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского  
Российской академии наук  
Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды  
Томское региональное общественное объединение «Росгео»



# ГЕОХИМИЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

---

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ ШКОЛА-СЕМИНАР,  
*посвященная 150-летию со дня рождения В.И. Вернадского*  
*(1863–2013)*

---

г. Томск, 2–5 июня 2013 г.

УДК 550.4(063)  
ББК 26.30л0  
М431



Издание осуществлено при финансовой поддержке  
Федеральной целевой программы развития образования  
на 2011–2015 годы (ГК №14.740.11.1036)

М431 **Геохимия живого вещества:** материалы Международной молодежной школы-семинара (Томск, 2–5 июня 2013 г.); Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 190 с.

ISBN 978-5-87307-076-8

Международная молодежная Школа - семинар приурочена к целому ряду знаменательных дат, таких как 150-летие со дня рождения В.И. Вернадского - выдающегося естествоиспытателя и основателя учения о биосфере и роли живого вещества, организатора первой в мире биогеохимической лаборатории (БИОГЕЛ), с даты открытия которой прошло 85 лет. В сборнике представлены доклады ведущих специалистов в области развития знаний о геохимии живого вещества, входящего в рамки обозначенной В.И. Вернадским дисциплины – биогеохимии. Целью Школы – семинара являлось объединение специалистов разных научных направлений, ведущих исследования в этой области. Доклады молодых ученых, представленные в данном сборнике, позволяют говорить о наличии перспективы в развитии обозначенных научных направлений. В сборник включено 38 докладов 65 авторов из 5 стран мира: Франции, Вьетнама, Литвы, Казахстана и России. В первой части сборника опубликованы доклады ведущих ученых в области биогеохимии, во второй – доклады молодых ученых, аспирантов, магистров и студентов. Электронная версия выставлена на сайте [portal.tpu.ru/science/konf/radioactivity/Trudy1](http://portal.tpu.ru/science/konf/radioactivity/Trudy1).

Сборник представляет интерес для геологов, геохимиков, биологов, медиков, экологов и других специалистов, интересующихся проблемами геохимии и биогеохимии.

УДК 550.4(063)  
ББК 26.30л0

ISBN 978-5-87307-076-8

© Авторы статей, 2013  
© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2013  
© Оформление. Кафедра ГЭГХ ИПР ТПУ, 2013  
© Обложка. Издательство Томского политехнического университета, 2013

# СОДЕРЖАНИЕ

Становление и основные направления биогеохимии <i>В.В. Ермаков</i> .....	9	Formation and main directions of biogeochemistry <i>V.V. Ermakov</i> .....	
<b>ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ</b> .....	<b>28</b>		
О биогеохимических поисках месторождений полезных ископаемых <i>В.А. Алексеенко</i> .....	28		
Проведение биогеохимических поисков месторождений полезных ископаемых <i>В.А. Алексеенко</i> .....	33	The peculiarities of search of mineral deposits with the biogeochemical method are considered <i>V.A. Alekseenko</i> .....	
Почвенные беспозвоночные как индикаторы состояния территории <i>А.С. Бабенко</i> .....	40	Soil invertebrates as indicator of territory pollution <i>A.S. Babenko</i> .....	
О некоторых тенденциях в изменении химического состава живого вещества <i>Н.В. Барановская</i> .....	42	On Some Tendencies in Changes of Living Matter Chemical Composition <i>N.V. Baranovskaya</i> .....	
Учение В.И. Вернадского о биосфере и современные проблемы экологической токсикологии <i>В.С. Безель</i> .....	57	V.I. Vernadskiy's Concept on Biosphere and Contemporary Problems of Environmental Toxicology <i>V.S. Bezel'</i> .....	
Химические элементы при тиреоидных патологиях <i>О.А. Денисова, Н.В. Барановская, Г.Э. Черногорюк, Л.П. Рихванов, Е.В. Калянов, К.К. Егорова</i> .....	61	Chemical elements in thyroid pathologies <i>O.A. Denisova, N.V. Baranovskaya, G.E. Chernogoryuk, L.P. Rikhvanov, E.V. Kalyanov, K.K. Egorova</i> .....	
Микроэлементозы: локальные и глобальные аспекты <i>В.В. Ермаков</i> .....	64	Microelementoses: local and global aspects <i>V.V. Ermakov</i> .....	
Медицинская и биологическая элементология как новые научные дисциплины: состояние и перспективы <i>В.Е. Зайчик</i> .....	76	Medical and biological elementology as a new scientific discipline: state and prospects <i>V.E. Zaichick</i> .....	
Биогеохимическая роль планктона – универсального представителя живого вещества гидросферы <i>Г.А. Леонова, В.А. Бобров</i> .....	82	Biogeochemical role of plankton – the universal representative of the living matter of the hydrosphere <i>G.A. Leonova, V.A. Bobrov</i> .....	

Химические элементы в организме человека как основа для развития медицинской геологии <i>Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская</i> .....	89.....	Chemical elements in human body as the basis for development of medical geology <i>L.P. Rikhvanov, N.V. Baranovskaya</i> .....	
Элементный состав грудного молока женщин промышленного города <i>С.С. Станкевич, Н.А. Барабаш, Н.В. Барановская</i> .....	94.....	Micronutrient composition of women's breast milk, who live in industrial cities <i>S.S. Stankevich, N.A. Barabash, N.V. Baranovskaya</i> .....	
Биогеохимия современных биокосных систем (на примере донных отложений озер Обь-Иртышского междуречья) <i>В.Д. Страховенко, О.П. Таран, Н.И. Ермолаева</i> .....	99.....	Biogeochemistry of present day nonliving systems (by the example of the bottom deposits of the Ob-Irtysh watershed) <i>V.D. Strakhovenko, O.P. Taran, N.I. Ermolaeva</i> .....	
Оценка качества и прогнозирование экологической безопасности урбанизированных территорий на примере изучения биообъектов <i>Б.Х. Шаймарданова, Г.Е. Асылбекова, Н.П. Корогод</i> .....	106.....	Quality assessment and forecasting of ecological security of urban areas on the example of the study of biological objects <i>B.Kh. Shaimardanova, G.E. Asylbekova, N.P. Korogod</i> .....	
Фармакологические аспекты изучения химических элементов в растениях <i>И.В. Шилова</i> .....	111.....	Pharmacological aspects of the study of chemical elements in plants <i>I.V. Shilova</i> .....	
<b>ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ</b> .....	<b>116</b> .....		
Оценка содержания азота в почвах г. Париж <i>Ж.Е. Абикиева</i> .....	116.....	Evaluation of nitrogen in soils of the city Paris, France <i>Zh.E. Abikeeva</i> .....	
Сравнительная оценка накопления токсичных элементов в золе листвы тополя черного <i>Populus nigra L.</i> <i>Г.Е. Асылбекова, Б.Х. Шаймарданова, Н.П. Корогод</i> .....	118.....	Comparative Analysis of Toxic Element Accumulation in the Black Poplar Leaf Ash, <i>Populus nigra L.</i> <i>G.E. Asylbekova, B.Kh. Shaimardanova, N.P. Korogod</i> .....	
Оценка содержания тяжелых металлов (Cr, Ba) в золе полыни горькой ( <i>Artemisia Absinthium</i> ) <i>К.Е. Балдина, А.И. Беляновская, Ж.Е. Абикиева</i> .....	119.....	Assessment of heavy metals (Cr, Ba) presence in ashes of bitter wormwood ( <i>Artemisia Absinthium</i> ) <i>K.E. Baldina, A.I. Belyanovskaya, Zh.E. Abikeeva</i> .....	
Минералого-геохимические особенности зольного остатка организма человека <i>М.А. Белякина</i> .....	122.....	Mineral-Geochemical Features of Human Body Ash Residue <i>M.A. Belyakina</i> .....	
Оценка содержания тяжелых металлов (Zn, Br) в золе надземной части Полыни горькой ( <i>Artemisia absinthium</i> ) <i>А.И. Беляновская, К.Е. Балдина, Ж.Е. Абикиева</i> .....	123.....	Assessment of heavy metals (Zn, Br) presence in ashes of bitter wormwood ( <i>Artemisia Absinthium</i> ) overground parts <i>A.I. Belyanovskaya, K.E. Baldina, Zh.E. Abikeeva</i> .....	
Формирование микроэлементного состава растений в зависимости от степени антропогенного воздействия на среду их обитания <i>В.В. Боев</i> .....	126.....	Formation of microelement structure of plants depending on extent of anthropogenous impact on the environment of their dwelling <i>V.V. Boev</i> .....	
Биомониторная роль лишайников в накоплении химических элементов на территории нефтедобывающих районов <i>Т.С. Большунова, И.В. Подкозлин</i> .....	129.....	Biomonitor role of lichens in accumulation of chemical elements in the territory of the oil exploration areas <i>T.S. Bolshunova, I.V. Podkozlin</i> .....	
Проблема накопления мышьяка в живых организмах во Вьетнаме <i>До Тхи Зунг, А.А. Мех, Нгуен Ван Зунг, Нгуен Чунг Киен</i> .....	132.....	The Problem of Arsenic Accumulation in Living Bodies in Vietnam <i>Do Thi Zung, A.A. Mech, Nguen Van Zung, Nguen Chung Kien</i> .....	

Вертикальное распределение $^{137}\text{Cs}$ и $^{60}\text{Co}$ в донных отложениях в оз. Друкшай – водоеме-охладителе Игналинской АЭС <i>О. Ефанова, Е.Д. Марчиулениене, Й. Мажейка</i> .....134.....	The Vertical Distribution of $^{137}\text{Cs}$ and $^{60}\text{Co}$ in the bottom Sediments of the Lake Drukshai which is the Cooling Pond of the Ignalina NPP <i>O. Jefanova, E.D. Marciulioniene, J. Mazeika</i>
Радионуклиды в тканях и органах людей, проживающих на территориях, прилегающих к Семипалатинскому испытательному ядерному полигону <i>Ш.Б. Жакупова, З.С. Зингатинова, М.Т. Джамбаев, А.И. Меркель, Р.К. Ансаликов, А.В. Липихина</i> .....137.....	Radionuclides in tissues and organs of people living in the territory adjacent to SNTS (Semipalatinsk nuclear test site) <i>Sh.B. Zhakupova, Z.S. Zingatinova, M.T. Jambayev, A.I. Merkel, R.K. Apsalikov, A.V. Lipikhina</i>
Ретроспективная и перспективная оценка радиозоологического состояния территорий, прилегающих к Семипалатинскому испытательному ядерному полигону <i>З.С. Зингатинова, Ш.Б. Жакупова, К.С. Усабаев, Д.Ж. Жаскайрат, Р.К. Ансаликов, А.В. Липихина</i> .....141.....	Retrospective and prospective estimate of the radioecological state of the territory adjacent to Semipalatinsk nuclear test site <i>Z.S. Zingatinova, Sh.B. Zhakupova, K.S. Ussabayev, D.Zh. Zhaskairat, R.K. Apsalikov, A.V. Lipikhina</i>
Биогеохимический аспект развития промышленного центра на северо-востоке Казахстана <i>Н.П. Корогод, Б.Х. Шаймарданова, Г.Е. Асылбекова</i> .....144.....	Biogeochemical aspect of the industrial center in the north-east of Kazakhstan <i>N.P. Korogod, B.Kh. Shaimardanova, G.E. Asylbekova</i>
Оценка содержания химических элементов (Sc, Sb) в золе листьев полыни горькой <i>Artemisia absinthium L.</i> <i>Я.В. Линькова, А.А. Снегур</i> .....146.....	Assessment of chemicals (Sb, Sc) presence in ashes of <i>Artemisia absinthium leaves</i> <i>Y.V. Linkova, A.A. Snegur</i>
Эколого-геохимическая оценка содержания ртути в биообъектах Томской области <i>Е.Е. Ляпина</i> .....149.....	Ecology-geochemistry assessment of the content of mercury in biological objects of the Tomsk region <i>E.E. Lyapina</i>
Биогеохимическая характеристика сапропеля озера Большие Тороки (Западная Сибирь) <i>А.Е. Мальцев, В.А. Бобров, Г.А. Леонова, С.К. Кривоногов</i> .....153.....	Biogeochemistry of the Big Toroki sapropel lake, Western Siberia <i>A.E. Maltsev, V.A. Bobrov, G.A. Leonova, S.K. Krivonogov</i>
Изучение закономерностей накопления химических элементов в кольцах деревьев <i>А.С. Миронова, А.А. Капустина</i> .....156.....	
Оценка нормативных показателей содержания химических элементов в волосах детей с использованием метода центилей и прогноза состояния здоровья <i>Д.В. Наркович, Н.В. Барановская</i> .....158.....	Estimation of Standard Indicators for Element Content in Children's Hair Using the Centile Method and Health State Forecast <i>D.V. Narkovich, N.V. Baranovskaya</i>
Элементный состав золы листьев березы как индикатор состояния рекреационных территорий республики Алтай <i>К.С. Павлова</i> .....165.....	Elemental composition of the ash birch leaves as indicators of recreational areas of the Altai republic <i>K.S. Pavlova</i>
Элементный состав матов минеральных источников Байкальской рифтовой зоны <i>Т.А. Перминова, Е.В. Денисова</i> .....169.....	Elemental composition of mats of mineral springs in the Baikal rift area <i>T.A. Perminova, E.V. Denisova</i>

Накопление тяжелых металлов в биосредах и микроэлементный статус населения как индикаторы техногенного загрязнения окружающей среды Республики Казахстан <i>А.И. Погромская</i> .....	172.....	Accumulation of heavy metals in human biological material and microelement status of population as an indicator of industrial pollution of Republic of Kazakhstan <i>A.I. Pogromskaya</i> .....	172.....
Уровень содержания макроэлементов (Na, Ca) в золе листьев полыни горькой <i>Artemisia absinthium</i> <i>З.М. Темешева, Б.Ж. Алибекова</i> .....	175.....	Level of the maintenance of macro elements (Na, Ca) in ashes of leaves <i>Artemisia absinthium</i> <i>Z.M. Temesheva, B.Zh. Alibekova</i> .....	175.....
Оценка эффективности переноса техногенных радионуклидов между компонентами трофических сетей р. Енисей <i>Е.А. Трофимова, Т.А. Зотина, А.Я. Болсуновский</i> .....	178.....	Assessment of the artificial radionuclides transfer efficacy between components of trophic chains of the Yenisei River <i>E.A. Trofimova, T.A. Zotina, A.Ya. Bolsunovsky</i> .....	178.....
Ртуть в пресноводных гидробионтах <i>О.Ю. Федюшина</i> .....	180.....	Mercury in freshwater hydrobionts <i>O.Yu. Fedyushina</i> .....	180.....
Изучение особенностей элементного состава органов и тканей золы свиньи домашней ( <i>Sus Scrofa Domestica</i> ) <i>К.В. Шакирова, Ян Ренау</i> .....	182.....	The Study of Peculiarities in Domestic Pig's ( <i>Sus Scrofa Domestica</i> ) Organs and Tissue Element Composition <i>K.V. Shakirova, Yan Renau</i> .....	182.....
Элементы-индикаторы техногенеза в листьях древесных растений <i>А.Р. Ялалтдинова</i> .....	186.....	Indicator elements of technogenesis in the leaves of woody plants <i>A.R. Yalaltdinova</i> .....	186.....
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	188.....	AUTHOR INDEX.....	188.....

## СТАНОВЛЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ БИОГЕОХИМИИ

В.В. Ермаков

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
119991 Москва, ул. Косыгина, 19, [ermakov@geokhi.ru](mailto:ermakov@geokhi.ru)

### FORMATION AND MAIN DIRECTIONS OF BIOGEOCHEMISTRY

V.V. Ermakov

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry. V.I. Vernadsky, 119991, ul. Kosygin, 19, [ermakov@geokhi.ru](mailto:ermakov@geokhi.ru)

**Abstract.** *The main periods of biogeochemistry in the former Soviet Union, Russia and other countries are presented. Particular attention is paid to the various directions of biogeochemistry and its value to developing society.*

Развивая экологическую направленность идей натуралистов Европы в 18 столетии, В.И. Вернадский в 30-х гг. прошлого столетия разработал научную биогеохимическую концепцию биосферы, как геологической оболочки Земли, структура и энергетика которой созданы деятельностью живого вещества в течение геологической истории планеты. Он является основателем нового научного направления – биогеохимии – изучения жизни в аспекте миграции атомов химических элементов [22–24] (рис. 1).



**Рис. 1.** Основатель биогеохимии Владимир Иванович Вернадский (1863–1945)

Предшественниками биогеохимии следует считать идеи Лавуазье, Дж. Кювье, Е. Зюсса, Ю. Либиха и Ч. Дарвина (рис. 2).

БИОГЕОХИМИЯ – система знаний, системная наука об элементном составе живого вещества и его роли в миграции, трансформации и концентрировании химических элементов и их соединений в биосфере, о геохимических процессах с участием организмов, их взаимодействии с

геохимической средой и геохимических функциях биосферы [58].

Исторически элементы биогеохимии и геохимической экологии заложены еще в 18 веке. Особую роль играют работы А.Л. Лавуазье (1743–1794) и Юстаса Либиха (1803–1873) (рис. 2). Известно, что Антуан Лоран Лавуазье был одним из основателей современной химии. Но, по-видимому, мало кому известно, что у него было ясное понимание роли живых существ в круговороте элементов на Земле. Это следует из его доклада, представленного французской Академии Наук в 1792 г. незадолго до его гильотины: «... Брожение, гниение и сгорание непрерывно возвращают в воздух атмосферы и в минеральное царство те исходные вещества, которые у них позаимствовали растения и животные. Какими путями природа осуществляет этот изумительный круговорот веществ между тремя своими царствами» – и далее: «... Поскольку сгорание и гниение суть средства, которые природа использует для того, чтобы вернуть в минеральное царство те материалы, которые она из него извлекла, чтобы создать растения и животных, то развитие растений и животных должны представлять собой явления, обратные сгоранию и гниению». Эти высказывания Лавуазье, приведенные в работе М. Барбье [7], интересны тем, что в них одновременно предугадываются будущие исследования Л. Пастера и закладываются основные идеи геохимической экологии.

Немецкий ученый Ю. Либих, известный как основатель агрохимии, открыл и описал закон минимума в 1840 г. [197]. Именно этот закон наиболее полно отражает зависимость между геохимическим фактором воздействия (например, уровень микроэлементов в среде и рационе и проявление биологических реакций организма). Место этого научного направления среди экологических наук отражено на схеме (рис. 3). Наиболее тесные взаимодействия у геохимической экологии с геоэкологией и с различными направле-



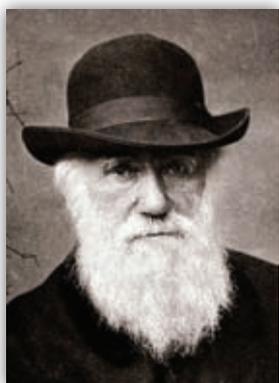
Antoine Laurent de Lavoisier 1743–1794



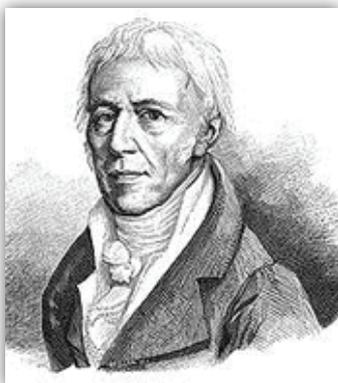
George-Leopold-Chretien-Frederic-Degobert-Cuvier 1769–1832



Eduard Suess 1831–1914



Charles Robert Darwin 1809–1882



Jean-Baptiste Lamarck 1744–1829



Justas von Liebig 1803–1873

Рис. 2. Ученые – предшественники биогеохимии

ниями общей экологии. Естественно, что геохимическая экология использует методы и знания большинства биологических, гео- и химических наук (физиология, биохимия, аналитическая химия, геохимия).

Это приоритетное научное направление. Востребованность биогеохимии обусловлена техногенной эволюцией планеты и поисками адекватных путей взаимодействия человека и природы. Знания биогеохимии необходимы в медицине и сельском хозяйстве, они определяют стратегию формирования ноосферных технологий и развития современного общества.

Направленность биогеохимических исследований была определена В.И. Вернадским весьма широко: от геологической (геохимической) роли живого вещества до биологической роли химических элементов и их соединений. Изучение элементного состава живого вещества сопровождалось необходимостью сочетания геохимических исследований с решением проблем биохимии, медицины и сельского хозяйства.

Экологические аспекты биогеохимии были реализованы в концепции биогеохимических провинций (А.П. Виноградов) [31] и геохимической экологии (В.В. Ковальский) [87]. Интенсивное развитие биогеохимии явилось результатом дифференциации этой науки и возникновению новых направлений: биогеохимии углерода и органического

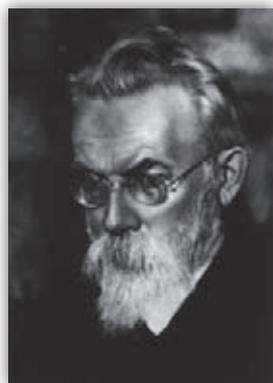
вещества, биогеохимии микроэлементов, биогеохимии изотопов, биогеохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых, палео-биогеохимии, радио-биогеохимии, биогеохимии почв, растений, биогеохимии океана (рис. 3).

Предметом изучения биогеохимии служат процессы и механизмы миграции химических элементов и их соединений между организмами и окружающей средой. БИОГЕОХИМИЯ – системная наука. Ее развитие стало возможным благодаря ученикам и последователям В.И. Вернадского (рис. 4).

В.В. Ковальский отмечал, что рассмотрение поведения



Рис. 3. Основные направления биогеохимии



Владимир Иванович Вернадский  
(1863–1945)



Александр Павлович Виноградов  
(1895–1975)



Виктор Владиславович Ковальский  
(1899–1984)



Алексей Осипович Войнар  
(1899–1964)

**Рис. 4.** Ученые – основатели биогеохимии и геохимической экологии

одного или группы химических элементов изолированно, вне связи организма и среды теряет смысл в биогеохимии, ибо биогеохимия системная наука [90, 93].

По определению В.В. Ковальского «Биогеохимия – наука о системной организованности биосферы и биогенных циклов химических элементов, в основе которой лежит эволюционное единство жизни, живого вещества и их среды, определяющих закономерности биогенной миграции атомов и форм их биогенных соединений» [91, 94].

В.И. Вернадским в 1917–1920 гг. были очерчены основные задачи и направления биогеохимии как науки. В 1926 г. он опубликовал монографию «Биосфера», которая открыла новые пути биогеохимического познания планеты Земля, приняв основным фактором геохимической эволюции биосферы живое вещество [22].

В период 1934–1944 гг. были опубликованы «Проблемы биогеохимии» (шесть работ) [24], в 1980 г. – монографический сборник работ, в которых изложены идеи В.И. Вернадского о путях развития этой новой науки. Заключительным этапом творчества ученого явилось посмертное издание его классической монографии «Химическое строение биосферы Земли и ее окружения» (1965) [23], завершённой еще к 1945 г. Оригинальные идеи замечательного ученого, мыслителя и философа В.И. Вернадского явились ценным вкладом в отечественную и мировую науку.

В бывшем СССР развитие биогеохимии было связано с деятельностью Отдела живого вещества, сформированного В.И. Вернадским в 1926 г. при Комиссии по изучению естественных производительных сил. В октябре 1928 г. начинается отсчет созданная ученым Биогеохимическая лаборатория АН СССР [123].

В Лаборатории с самого начала ее существования разрабатывались и внедрялись высокоэффективные и чувствительные методы анализа макро- и микроэлементов в организмах. Прежде всего, это исследования С.А. Боровик и Т.Ф. Боровик-Романовой по применению эмиссионной спектроскопии для анализа природных объектов [18]. Работы в области аналитической химии определили пути развития учения о химическом элементарном составе организмов и живого вещества в связи с проблемами эволюции среды и жизни. А.П. Виноградовым была обработана мировая литература на основе известной картотеки Биогеохимической лаборатории, дополненная материалами собственных исследований по химическому элементарному составу организмов Мирового океана [27–30]. Эта классическая работа впоследствии была переиздана за рубежом [200], а сравнительно недавно в России благодаря усилиям Л.Д. Виноградовой [32]. Важное значение для развития биогеохимии получили исследования А.П. Виноградова по геохимии редких и рассеянных химических эле-

ментов в почвах [35]. В монографии, посвященной этому вопросу, были впервые обобщены материалы по содержанию микроэлементов в почвах СССР и была поставлена задача формирования химической экологии.

Следует заметить, что исследованию микроэлементов в почвах в 1970 г. была посвящена монография В.В. Ковальского и Г.А. Андриановой [98]. В ней были систематизированы данные по микроэлементному составу почв бывшего СССР, а классификация почв по содержанию микроэлементов впервые была разработана на основе экологических данных о нижних и верхних их пороговых концентрациях в биогеохимической пищевой цепи (геохимическая среда-организмы-живое вещество). При биогеохимических исследованиях, по мнению авторов, почва является связующим звеном, охватывающим почвообразующую породу и живые организмы, живое вещество биосферы. Почве принадлежит огромная роль в инициировании первых стадий биогенных циклов химических элементов [92, 120, 121, 140, 147].

Первые исследования Биогеохимической лаборатории были посвящены изучению биогеохимии отдельных жизненно важных микроэлементов: йода, брома, никеля, кобальта и рублидия. Начав активно работать, ряд сотрудников лаборатории в 30-х гг. подвергся репрессиям. Это В.А. Зильберминц, Б.К. Бруновский, Л.С. Селиванов и А.А. Кирсанов. Четверо из них погибли в эпоху Великого террора, а один – в немецко-фашистском плену [146].

Особенно большое значение приобрели, начатые В.И. Вернадским, А.П. Виноградовым и А.М. Симориним исследования существующих в природе территорий с высоким или низким содержанием в почвах химических элементов, где среди организмов возникают морфологические изменения, нарушения обмена веществ и появление эндемических заболеваний [33, 169]. Такие территории были названы биогеохимическими провинциями. В частности, изучение территорий распространения урвской эндемии в Восточном Забайкалье В.И. Вернадский поручил А.М. Симорину, осуществившему планирование работ и первые биогеохимические исследования в этом регионе [169] (рис. 5).

К сожалению, в ноябре 1936 г. А.М. Симорин был арестован, работал на Колыме и был освобожден только в 1956 г. Печально, но к биогеохимическим исследованиям он не смог вернуться. В Биогеохимическую лабораторию его не приняли и вскоре в 1961 г. Александра Михайловича не стало. Это произошло в Крыму [124].

В 30-е годы Биогеохимическая лаборатория АН СССР привлекает к своим исследованиям другие научные учреждения. В частности, Лаборатория сравнительной биохимии АН УССР, руководимая В.В. Ковальским, включила в план биогеохимических исследований проблему периодической изменчивости химического элементарного состава органов и тканей животных организмов различных систематических групп. В результате были изучены закономерности суточных, годовых (сезонных) и приливо-отливных ритмов (прибрежная зона морей), показавших, что биологические ритмы могут быть динамическими характеристиками видов и других систематических единиц [79]. Дальнейшими ис-



Рис. 5. Александр Михайлович Симорин, ученик В.И. Вернадского, биогеохимик (1899–1961)

следованиями В.В.Ковальского были раскрыты некоторые процессы регуляции биологических ритмов путем наложения внутренних регуляторных ритмов (например, вегетативной нервной системы) на ритмы имеющие космическое происхождение [60, 93].

Изучение биогеохимии отдельных микроэлементов или группового сочетания двух и нескольких микроэлементов показало существование связи между геохимической средой (степенью обогащения ее микроэлементами) и растительными организмами (видовым составом, концентрированием растениями микроэлементов, биохимической и морфологической изменчивостью, нарушением метаболических процессов и эндемическими заболеваниями). Это послужило основанием разработки биогеохимических методов поисков рудных тел. Монография Д.П. Малюги «Биогеохимический метод поисков рудных месторождений» явилась первой глубоко обоснованной работой в этой области, основанной на разработке теоретических проблем биогеохимии – изучении способности отдельных видов растений концентрировать химические элементы, которые накапливаются также и в соответствующей почве, морфологических изменениях растений или поражении их эндемическими заболеваниями [133].

Биогеохимические методы поисков привлекли внимание исследователей как в бывшем СССР [26, 34, 77, 78, 141, 154], так и в других странах [19, 189, 190, 194].

В 1943 г. В.В. Ковальским во Всесоюзном институте животноводства (ВАСХНИЛ), а с 1954 г. в Биогеохимической лаборатории Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского АН СССР были развернуты исследования по новому направлению в биогеохимии – изучению биогеохимической гетерогенности, мозаичности биосферы. Важность этого направления была отмечена еще В.И. Вернадским.

Существующие в природе локальные биогеохимические изменения биосферы в ряде случаев устойчивы и охватывают конкретную среду жизни. Биогеохимические си-

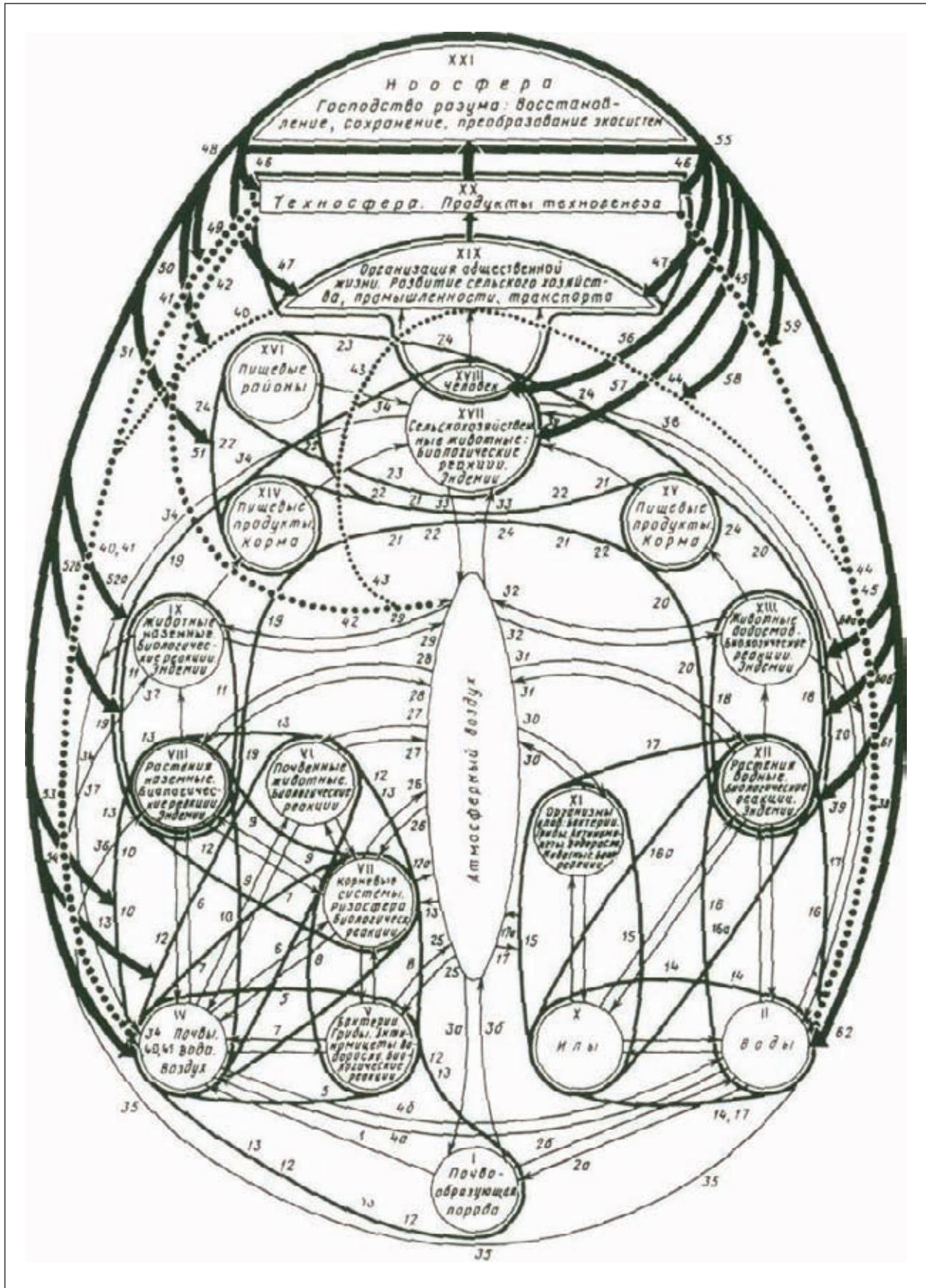


Рис. 6. Системная организованность биогенных циклов химических элементов как биогеохимическая модель локальной биосферы

стемы обладают определенной организованностью среды и жизни. Понимание их функционирования важно не только для понимания эволюции организмов, но единой системы: среда-жизнь. Они важны также для решения практических проблем сельского хозяйства и медицины.

Следует отдать должное активности В.В. Ковальского, возглавлявшего Биогеохимическую лабораторию в течение 30 лет с 1954 по 1984 гг. Им была предложена модель биогеохимической пищевой цепи [91, с. 14], затем – системной организованности биогенного цикла химических элементов (рис. 6) [92, 195], являющихся основой сравнительного изучения локальных биогеохимических изменений биосферы.

Ученый разработал методологию биогеохимического районирования и картирования таксонов биосферы [90, с. 135–137; 93, с. 21–23]. Биогеохимическое районирование основывается на специальных биосферных таксонах – регионах биосферы (таксоны первого порядка), субрегионах биосферы (таксоны второго порядка), биогеохимических провинциях (таксоны третьего порядка) первичных и вторичных, типичных, потенциальных (скрытых), фоновых. Представления о биогеохимических провинциях, ранее предложенные А.П. Виноградовым [31, 33, 35], существенно отличаются в интерпретации В.В. Ковальского – они являются таксонами биосферы, составными частями субрегионов биосферы. Это географически не изолированные биогеохимические провинции, но типичные первичные и вторичные в связи с потенциальными и фоновыми, благодаря чему в пределах субрегионов биосферы районирование воспроизводится по принципу географической непрерывности. Объединение по этому же принципу субрегионов биосферы в регионы биосферы дает конкретное представление о биогеохимической гетерогенности, мозаичности биосферы.

На основании большого массива данных по изучению биогеохимических провинций и эндемий, их локализации и характерных реакций организмов были реализованы идеи биогеохимического районирования и предложена специальная карта-схема [41, 42, 93, 95].

Биогеохимическое районирование отражает системный принцип в естествознании и в геохимии, когда понятие жизни входит в понятие среды. Этот же принцип лежит в основе представления В.И. Вернадского о строении биосферы.

При разработке системы биогеохимического районирования был введен ряд новых характеристик живого вещества, являющегося с точки зрения геохимии совокупностью организмов, но для геохимии необходима также и биологическая характеристика живого вещества с его реакциями и функциями. В популяции всегда есть организмы менее и более чувствительные к одной и той же концентрации элементов или форм их соединений в геохимической среде. При изучении приспособляемости к условиям среды должно учитываться разнообразие возможных реакций у организмов популяции.

Левая сторона рисунка – геохимическая среда и жизнь в условиях наземных, правая – в условиях водной среды, между ними – связь жизни с аэрозолями химических элементов и атмосферным воздухом. Тонкие сплошные

линии показывают звенья биогенного цикла (обозначены римскими цифрами I–XXI) и связи (односторонние и двусторонние) между звеньями; линиями второго порядка обозначены первичные системы организации биогенных циклов, обычно объединяющие два звена биогеохимической пищевой цепи (например, 7, 11, 18 и др.) и более сложные вторичные системы организации биогенного цикла, состоящие из первичных систем (например, контуры 12, 13, 19, 17, 20 и др.); малым пунктиром – начальные загрязнения окружающей среды: почв (40), вод (44), атмосферного воздуха (43) – связанные с общественной организацией общественной жизни человека, с развитием сельского хозяйства, промышленности и транспорта; крупным пунктиром – распространение продуктов техногенеза в биосфере (почвах – 41, в атмосферном воздухе – 42, водах – 45) как результат формирования техносферы, что приводит к включению их во все звенья системной организованности биосферы и к возникновению во многих случаях техногенных биогеохимических провинций; сплошными более широкими линиями 3-го порядка – проявление общественной и хозяйственной жизни человека (XVIII, XIX), образование техносферы (XX) и организация человеком ноосферы (XXI) [88, 89].

Учение о пороговых концентрациях, разрабатываемое геохимической экологией, предусматривает существование нижних и верхних пороговых концентраций в геохимической среде, в пищевых рационах, в жидкостях организма, в органах и тканях. Известно, что гигиенисты не предусматривают такой дифференциации пороговых концентраций. Они используют ПДК (предельно допустимая концентрация) или МДУ (максимально допустимый уровень). Биогеохимия использует сложную систему, определяемую данными геохимической экологии: концентрация химических элементов в среде, в районах, с одной стороны, с другой – пороговые концентрации нижняя и верхняя раскрываются адаптационно-экологические свойства организма и, следовательно, живого вещества [88, 89].

В.В. Ковальский – автор концепции критических концентраций микроэлементов. По его мнению, ниже нижнего порога наблюдается недостаточное содержание в среде одного, двух или нескольких сопряженных химических элементов, необходимых для регуляции процессов жизни. При этом нарушаются обменные процессы, нарушается активность ферментов, метаболическая слаженность путей обмена, морфогенеза, возникают дисфункции и эндемические заболевания. Подобные нарушения жизнедеятельности наблюдаются при избытке химических элементов выше верхних пороговых концентраций, что приводит в конечном итоге к эндемическим болезням. Между нижними и верхними пороговыми концентрациями существует нормальная регуляция гомеостатических состояний. По мере приближения концентрации химических элементов к нижнему или верхнему порогу все более затрудняются гомеостатические регуляции. Пределы концентраций химических элементов между нижними и верхними пороговыми во внешней и внутренних средах представляют собой емкость гомеостатических регуляторных систем. Она характеризует важные свойства организмов, связанные с их развити-

ем, обеспечением химическими элементами в оптимальных концентрациях [94, 95].

Ученый придавал ключевое значение сложной динамической системе взаимосвязанных адаптационно-экологических свойств организма. Он писал: «Проблема эволюции гомеостатических регуляций нуждается в глубоких новых исследованиях, при которых должны учитываться биогеохимические данные геохимической экологии. Уже в настоящее время в экологии наблюдения показывают, что гомеостатическая регуляция процессов (поддерживающая концентрации определенных химических элементов на одном уровне в организмах независимо от изменения концентрации элемента во внешней среде – культуральной, почвенной, средой рациона) наблюдается на различных этапах эволюции организмов – у бактерий, актиномицетов, низших грибов, а также у растений» [87, с. 26–41; 93, с. 61–67; 109, с. 3–19].

В 1944 г. под руководством В.В. Ковальского были начаты исследования субрегионов биосферы и биогеохимических провинций таежно-лесного нечерноземного региона биосферы. Здесь были обнаружены биогеохимические провинции с недостатком кобальта, йода и меди [13, 14, 52, 81, 82]. В биогеохимических провинциях с недостатком кобальта у животных было диагностировано распространение эндемического гипо- и авитаминоза  $B_{12}$  [113, 114]. В биогеохимических провинциях с недостатком меди наблюдались эндемические анемии. При недостатке в среде йода возникали биогеохимические провинции с проявлением эндемического зоба и кретинизма [87, с. 214–229; 99, 100]. Кроме того, в йод-дефицитных биогеохимических провинциях было выявлено среди животных эндемическое бесплодие [171]. При одновременном недостатке йода и кобальта в среде и кормах в условиях хозяйств Ярославской обл. и одновременного недостатка или избытка марганца усиливался эндемический зоб. Аналогичные данные были получены при изучении эндемического зоба в других биогеохимических провинциях Карпат, Восточного Казахстана, Алтайского края, что позволило разработать основы геохимической экологии эндемического зоба [100, 106, 117].

В 80-х гг. Биогеохимическая лаборатория ГЕОХИ продолжала исследования субрегионов биосферы и биогеохимических провинций Центральной нечерноземной зоны с целью разработки количественной модели: почвообразующая порода-почва-корма-пищевой рацион для микроэлементов кобальта, меди, йода; отношения кальций/стронций. Такая модель полезна при прогнозировании распространности реакций животных и человека на биогеохимические особенности среды обитания [112, 125].

Большой интерес представляют исследования биогеохимического районирования Белоруссии и геохимической экологии поселений бобров в условиях бассейнов рек Сожа, Березины, Западной Двины [21, 162] и полегания злаков. Было показано, что при низком содержании в почвах меди полегание злаков может иметь характер эндемического заболевания [111]. Проведенные исследования позволили дать предварительные заключения о результатах биогеохимического районирования БССР. В последующем были выполнены интересные работы по геохимиче-

ской экологии животных речных пойм В.В. Савченко [162]. В настоящее время учение о микроэлементах успешно развивается А.Г. Мойсеенком и его коллегами [62].

В этот период были подведены итоги многолетних исследований распределения микроэлементов в биосфере Карелии, стран Прибалтики и сопредельных районов [11, 130]. Было проведено также биогеохимическое районирование Чувашской АССР. Выделены субрегионы биосферы, дифференцированные по изменениям биогеохимической пищевой цепи, «азональные» кремневые, фторные и нитратные биогеохимические провинции. Изучены реакции организмов на высокое содержание кремния (уролитиаз) [178]. В настоящее время под руководством В.Л. Сусликова биогеохимические исследования в Чувашии продолжают [177]. В частности, предложены биогеохимические критерии экологического статуса микроэлементов в организме человека с учетом их суточного потребления и проявления соответствующих реакций [179].

Биогеохимическое районирование Молдавской ССР позволило выделить и охарактеризовать биогеохимические провинции на основании определения концентрации йода, кобальта, цинка, марганца, меди и установления биологических реакций растительных и животных организмов на недостаток кобальта, йода, цинка и избыток меди [20]. Следует отметить заметные успехи ученых Молдавии при изучении экологического статуса селена [74].

В пределах обширных территорий бывшего СССР были выявлены биогеохимические провинции и субрегионы биосферы с характерными геохимическими и биологическими признаками [130]. В центральном Черноземье были выполнены оригинальные исследования по геохимической экологии человека И.М. Голубевым [48].

В лесостепном, степном черноземном регионе биосферы – на серых лесных и пойменных почвах были очерчены биогеохимические провинции, бедные йодом, что приводит к эндемическому увеличению щитовидной железы, редко – эндемическому зобу и эндемическому бесплодию. У сельскохозяйственных животных здесь могут возникать эндемии, например остеодистрофии крупного рогатого скота при нарушении отношения кальций/фосфор [72]. Такие же биогеохимические условия существуют в биогеохимических провинциях в Барабинской низменности и засоленной части Кулундинской степи [73].

Западно-Сибирский, или Барабо-Кулундинский борный субрегион биосферы, охватывающий часть Омской, Новосибирской, Томской, Павлодарской областей и Алтайского края, состоит из трех биогеохимических провинций: типичной, расположенной в Кулундинской степи, в которой при пониженном содержании меди и повышенном – бора наблюдаются у животных борные энтериты и пневмонии, особенно у ягнят, редко эндемическая атаксия, как это наблюдалось в условиях Дагестана в Прикаспийской борной биогеохимической провинции; потенциальной – охватывающей южную часть Барабинской степи, где реакции животных появлялись только в некоторые годы; фоновой – в Барабинской низменности в северной части, где содержание бора выше контрольного (восточнее р. Оби в Новосибирской обл.), но где не достигается пороговая концентрация

бора. В том же регионе биосферы (сухие степи, полупустыни, пустыни) наблюдаются субрегионы биосферы с относительным недостатком меди, избытком молибдена и сульфатов, иногда бора [87, 108].

Первые исследования биогеохимических провинций Южного Урала были проведены в 1948 г. В условиях никелевого рудного поля обнаружены морфологические измененные формы растений и физиологически измененные амфибии, а в условиях медных и никелевых провинций нарушение обменных процессов у сельскохозяйственных животных [47]. В пределах Южноуральского субрегиона биосферы выделены медно-цинковые и никель-кобальтово-медные биогеохимические провинции. В провинциях этого субрегиона, где среди населения установлены эндемические анемии, у животных гепатиты, редко – цирроз печени, вызываемые избытком меди, поражения эктодермальных тканей при избытке в среде никеля. В этих условиях наблюдаются морфологические изменения растений [152, 175]. В Троицком районе Челябинской обл. в биогеохимической провинции, богатой никелем, магнием, стронцием, бедной кобальтом, марганцем обнаружена эндемическая остеодистрофия у сельскохозяйственных животных [49, 50, 73].

Субрегионы биосферы, обогащенные бором, выявлены в сухостойном, полупустынном, пустынном субрегионе биосферы и Северном Казахстане и простираются в междуречье Волги и Урала, в Северном Дагестанском Прикаспии, от Аральского моря через Актюбинскую и Павлодарскую области и Кулундинскую и Барабинскую степи, а также на юг в Узбекистане – через районы дельты Амударьи и Бухарскую и другие области. Возникающая в этих условиях у животных эндемическая атаксия образует ряд биогеохимических провинций в субрегионах биосферы в степях Дагестана [96]; в Южном Дагестане, в Азербайджане, а также в Узбекистане [159], на Северном Кавказе, в степях Поволжья.

Известно, что практически во всех континентальных и горных регионах биосферы широко распространена йодная недостаточность. Важные исследования по биогеохимическому районированию и обменным процессам в щитовидной железе человека были проведены на Украине, в Карпатах [6], в Центральной нечерноземной зоне [82], в Чувашии, в Казахстане [38], в Армении, Дагестане, по эндемическому зобу и бесплодию – в Амурской обл. и др. [14, 127].

Проведено биогеохимическое районирование частей Читинской и Амурской областей, в которых распространена урвовская эндемическая болезнь – симметричный деформирующий остеоартроз [87, 101]. В Северном и Южном Таджикистане выявлены субрегионы биосферы и биогеохимические провинции с высокой концентрацией кальция и стронция. При относительном повышении концентрации стронция и понижении кальция уменьшается отношение кальций/стронций. В этом случае могут возникнуть у человека эндемические хондродистрофии и их наследственные формы и витамин D-резистентная форма рахита, у животных – эндемическая ломкость костей [94].

Биогеохимическое районирование проведено также в

Амурской обл. Выявлены субрегионы биосферы и типичные биогеохимические провинции с недостатком йода, в которых распространен эндемический зоб у человека и животных, а также бесплодие (эндемическое), провинции с пониженным содержанием цинка и кобальта, с содержанием меди, близком к нижним пороговым концентрациям [127].

При биогеохимическом районировании Баргузинской межгорной котловины Бурятской АССР установлена йодная и фторная недостаточность в исследованном субрегионе биосферы. Важные материалы для биогеохимического районирования Бурятии получены в исследованиях, установивших распространенность эндемических заболеваний (эндемического зоба, уrolитиаза, атаксии, урвовской болезни, акобальтозов, флюороза) в зависимости от содержания микроэлементов в геохимической среде [65]. В Туве выделен субрегион биосферы-и биогеохимические провинции (Улуг-Хемская и Уюкская), обогащенные селеном, в которых наблюдаются у животных характерные признаки селенового токсикоза [59].

Изучены многочисленные субрегионы биосферы и биогеохимические провинции различных регионов биосферы: богатые кобальтом, техногенные и естественные, в которых наблюдалась задержка синтеза у животных витамина В<sub>12</sub>, например, в Азербайджанской ССР; богатые свинцом, естественные (Армения) – эндемические заболевания нервной системы – цефалгии, ишиалгии, также гингивиты, гиперменоррея [110]; обогащенные молибденом и медью (Армения) – Анкаванская, Каджарская, Дастакертская, в которых проявление биологических реакций определяется соотношением меди и молибдена [13, 103] (превышение пороговой концентрации молибдена над медью наблюдается только в Анкаванской биогеохимической провинции, где у животных распространен эндемический молибденозис, а у человека – эндемическая молибденовая подагра) [13, 66, 103, 118, 119]. Известны также молибденовые биогеохимические провинции в Сербии, где среди населения распространены эндемические нефриты [198].

Субрегион биосферы, обогащенный ураном в Иссык-Кульской котловине Киргизской ССР, включает оз. Иссык-Куль и наземные биогеохимические провинции. Здесь найдены измененные формы растений, у животных организмов специфические болезни не обнаружены, установлены интересные формы адаптации животных к урану – сбрасывание организмом избыточного урана [102]. В настоящее время учеными республики Кыргызстан проведены обширные биогеохимические и радиэкологические исследования территорий, прилегающих к оз. Иссык-Куль, осуществлена инвентаризация флоры, развиваются различные направления биогеохимии растений и геохимической экологии [53, 138, 145].

Субрегионы биосферы и биогеохимические провинции с избытком (естественные и техногенные) или недостатком фтора, в которых распространены эндемические флюороз или кариес зубов, в частности, Щучинская биогеохимическая провинция в Казахстане [12]; обогащенные литием – естественные в бассейне р. Зеравцан (у животных эндемии возможны, но не найдены, у растений тератоген-

ная изменчивость) [107]; обогащенные хромом (Западный Казахстан) – техногенные и естественные (эндемический хронический хромовый токсикоз); обогащенные марганцем в Грузии, техногенные и естественные, типичные, первичные и вторичные (у животных организмов в печени не увеличивается концентрация марганца, активность аргиназы печени нормальная, эндемия зоба усиливается, у детей замедления роста и прибавок веса, у рыб – изменение метаболизма и уменьшение жизнеспособности, у растений – эндемии); биогеохимические провинции с недостатком цинка и пастбищных растениях распространены на сероземах, в них наблюдаются у крупного рогатого скота эндемический зимне-осенний паракератоз крупного рогатого скота, сопровождающийся угнетением активности цинк-зависимых ферментов [95].

Конкретизация биогеохимических свойств биосферы, выявленных на основе биогеохимического районирования и геохимической экологии, определила пути практического использования микроэлементов в народном хозяйстве. В.И. Вернадский считал это важной стороной развития биогеохимии, как изучение жизни и геохимической среды. В первом очерке из серии «Проблемы биогеохимии» [24] В.И. Вернадский указывал, что прикладное значение биогеохимии «может быть научно сведено к биогеохимической роли человечества», предвидя возможность широкого использования химических элементов геохимической среды в регуляции и оптимизации процессов в биосфере. Вот почему биогеохимическое картирование с выделением субрегионов биосферы и биогеохимических провинций можно рассматривать наряду с геохимической экологией как один из важнейших методов изучения биогеохимической гетерогенности биосферы. Биогеохимическое районирование можно считать относительно завершенным в том случае, когда оно реализовано в картах или в картосхемах. Первые такие атласы были изданы в КНР и бывшем СССР [127, 199]. Однако подробных атласов биогеохимического районирования России до сих пор нет. Это задача ближайшего будущего.

Развитие биогеохимии сказалось на разработке рецептур и технологий применения микроудобрений содержащих микроэлементы [75, 76, 183, 184, 199]. Разработаны специальные указания к применению в сельскохозяйственном производстве макро- и микроудобрений, с помощью которых можно целенаправленно изменять обмен веществ у растений, повышать их урожайность и качество продукции [16, 36, 76, 131, 148, 149, 155, 158, 180, 183, 184].

Это направление исследований активизировано в настоящее время в различных странах, включая Румынию, Болгарию, Японию и др. [58]. Как правило, в настоящее время применяют микроудобрения на различных носителях, дозирующих необходимое поступление микроэлемента в организм растения.

Микроэлементы в виде подкормок применяются и в животноводстве с целью повышения продуктивности и качества продукции. Учет данных биогеохимического районирования, а также пороговых концентраций элементов, гомеостатической емкости регуляторных систем организма, потребности в определенных химических элементах

может дать весьма необходимые сведения для получения благоприятных результатов [91, 93, с. 61–64]. Биогеохимическое районирование позволяет, таким образом, создать новые основы для распределения соответствующих подкормок [76, с. 265–266; 85]. Большую роль в изучении биологической роли микроэлементов в организме животных и их применению сыграли работы В.Т. Самохина [168].

Весьма эффективны технологии использования микроэлементов в рыбном хозяйстве для повышения продуктивности рыбоводческих искусственных и естественных водоемов. В результате искусственной перестройки цикла миграции химических элементов, например при недостатке кобальта искусственным созданием кобальтовых депо в прудовом иле и изменением цикла миграции кобальта [39, с. 5–23; 86; 87, с. 266–273]. При этом выход живой массы карпа можно повысить на 50–150%. В этом отношении проводятся обширные исследования профессором В.И. Воробьевым [40] и профессором В.Ф. Зайцевым [143] в Астрахани.

Большой интерес представляет на основе биогеохимического районирования и геохимической экологии разработка биогеохимических условий подавления и ликвидации эндемических заболеваний сельскохозяйственных животных и человека. Прежде всего, это касается глобальных биогеохимических эндемий: флюороза, патологий йодной недостаточности и селенодефицита. Возникает новая область исследований – геохимическая экология эндемических заболеваний [61, 63, 64, 87, с. 214–229; 88, 89, с. 177–192; 100, 196]. При изучении эндемий недостаточно рассматривать в геохимической среде только элемент непосредственно причинно связанный с эндемией, например йод и эндемический зоб, бор и борный энтерит, молибден и молибденозис и заболевание типа подагры, стронций-селен-йод и урловская болезнь, так как сопутствующие элементы могут оказывать значительное влияние на обмен основных элементов, являющихся причиной какой-либо определенной эндемии. Как упоминалось выше, эндемический зоб развивается при недостатке в геохимической среде йода, но выяснилось, что кобальт влияет на поглощение йода щитовидной железой, и при недостатке в среде кобальта эндемия зоба развивается сильнее [99]. Такие экологические аномалии в распространении эндемического зоба широко распространены. Йодная профилактика эндемического зоба не может быть успешной без учета данных геохимической экологии эндемического зоба [100]. В борной провинции избыток бора вызывает у животных и человека борные энтериты, но они могут быть ослаблены небольшими дозами меди (с учетом средней оптимальной потребности в меди) [97]; эндемические подагродобные заболевания (Армения) вызываются избытком молибдена, но могут быть ослаблены или ликвидированы добавкой в рацион сернистой меди или других ее соединений; урловская болезнь, вызываемая в Читинской и Амурской областях нарушением отношения кальция/стронций, может быть ослаблена введением в рацион солей кальция, особенно в период беременности [64, 127].

Проблема биогеохимического районирования биосферы рассматривается в биогеохимии как теоретическая

основа для решения важных вопросов организации сельскохозяйственного производства, получения экологически чистых продуктов и материалов.

В рамках Научного Совета по проблемам микроэлементов велась большая коллективная работа (лаборатории сельскохозяйственных институтов, университетов, научно-исследовательских институтов, кафедр гигиены) по определению химического элементарного состава растений суши, растений субрегионов биосферы и биогеохимических провинций, укосов пастбищных трав, кормов животных. Первая краткая сводка данных была опубликована в 1971 г. [115]. В настоящее время появились другие весьма ценные сводки и справочники [185].

Следует заметить, что в 70–90-х гг. выполнены интересные исследования, связанные с подкормкой микроэлементами лекарственных растений, основанные на данных геохимической экологии. Получена возможность с помощью микроэлементов значительно повысить выход действующих начал – флавоноидов, алкалоидов, сердечных гликозидов, веществ тонизирующего действия и др. [51; 87, с. 272–273; 104]. Это новое направление в прикладной биогеохимии имеет прочные основания для дальнейшей разработки [128]. К сожалению, в данный период работы в этом направлении ограничены. Не менее интересны исследования в области геохимической экологии диких животных [64, 153, 192].

Необходимо также сказать о новом направлении в биогеохимии – антропологических исследованиях развивающихся на основе геохимической экологии. Накопившиеся наблюдения позволяют прийти к заключению, что воздействие геохимической среды обитания человека на человеческий организм проявляется на индивидуальном уровне и на уровне групп населения, как это выяснилось при изучении геохимических эндемий [3, 4].

Дефицит минеральных веществ вызывает адаптационно-экологические реакции организмов, отражающиеся на строении внутренних сред организма, составляющих важное направление развивающейся антропологии. В этом отношении важной задачей является сопоставление антропологических характеристик с условиями геохимической среды, выявленными при биогеохимическом районировании, основанном на данных геохимической экологии [4].

Биогеохимическое изучение биогенных циклов химических элементов современной биосферы и ее гетерогенности, мозаичности является важной предпосылкой для палеобиогеохимического понимания эволюции системной организованности биогенных циклов в различные геологическое время [92]. Это большая задача, решение которой представляет теоретический и практический интерес для экологического раскрытия единства геохимической среды и жизни. Геохимическая среда в биосфере – это химические элементы земной коры в основном былых биосфер (стратиферы, верхней и нижней метаморфических и гранитной оболочек), созданных их живым веществом [67, 69, 70, 71, 132].

Известно, что основные задачи и направления палеобиогеохимии были сформулированы Я.В. Самойловым в период 1917–1922 гг. В.И. Вернадский создал понятие

о былых биосферах [25, с. 75–80; 161], а Я.В. Самойлов разработал учение о биолитах [165, 166], считая, что определение их природы открывает пути для познания живого вещества различных геологических эпох. Он ввел термин «биолиты» для обозначения горных пород, сохранивших морфологические или физиологические признаки биогенного их происхождения. С этой целью он разработал основы палеофизиологии и привел оригинальные биогеохимические доказательства биогенного происхождения баритов, целестинов, пермских медных руд [167]. Б.С. Соколов указал на биогенное происхождения ванадиевых отложений Казахстана [172]. Важной задачей палеобиогеохимии является составление карт или карто-схем распространения в разное геологическое время осадочных пород [161], что дает новый материал и новое понимание проблемы биогеохимического районирования. В современной биогеохимии наблюдается тенденция к установлению путей для комплексного исследования проблем палеофизиологии, палеобиохимии, палеоэкологии и палеобиогеохимии как одного из основных направлений биогеохимии, использующего данные осадочной и органической геохимии, геохимии изотопов и палеонтологии [43, 44, 57, 134, 135, 161, 173, 174].

Разрабатываются разнообразные проблемы палеобиохимии, например вопросы древности жизни на Земле [37, 84, 172, 173, 182], биогеохимии органических и минеральных веществ ископаемых организмов: аминокислот, коллагенов ископаемых костей, конхиолина, белков, липидов и др. [45, 46], содержание металлов и других химических элементов в организмах и в выделенных органических и минеральных веществах [87, 101, 105, 116, 145, 176].

Представляют интерес также физиологические подходы к решению палеобиогеохимических вопросов на современных животных организмах (экспериментальная биогеохимия) [57, с. 43], имеющих различную палеофизиологическую историю, например, суслик крапчатый, мигрировавший из восточных сухостепных районов, и суслик серый – из западных более влажных районов на территории Нижнего Приднепровья в наш послеледниковый период; как было установлено, они физиологически адаптированы соответственно к восточным или западным условиям [80]. Подобные ситуации распространены в природе, например осморегуляция у рыб понтотараскского и средиземноморского происхождения в условиях образовавшегося Черного моря и его опресненной северо-западной части и лиманов. Здесь могут быть экспериментально решены многие вопросы приспособляемости организмов к условиям среды в процессе филогенеза [87].

Идеи биогеохимии проникли в различные области теоретических наук и народнохозяйственную практику – в океанологию [122, 139, 160], в медицину [1, 89, 170], в растениеводство [59, 183, 184, 186], животноводство [11, 83, 168], микробиологию [2, 126, 129], агрохимию [75, 76, 136, 140], почвоведение [140, 147], гигиену [142], в учение о биологической роли микроэлементов [15, 45, 137, 144, 157, 158, 188], в учение о роли металлов в органической эволюции [5, 17], в проблему биогеохимической инвентаризации флоры [138], в разработку проблем геохимического загряз-



*А.И. Перельман 1916–1998.  
Автор концепции биогеохимических барьеров и ландшафтно-геохимических провинций*



*А.Л. Ковалевский 1929–2001.  
Биогеохимия растений, биогеохимические поиски, геохимия урана*



*В.В. Добровольский 1916–2010.  
Основы биогеохимии*

**Рис. 7.** Ученые России, развивавшие направления биогеохимии континентов

нения среды [9, 193] и др.

Следует остановиться на подготовке кадров по биогеохимии. В бывшем СССР эта проблема решалась успешно. В 70–80-е гг. Биогеохимическими лабораториями было подготовлено более восьмидесяти кандидатов и тридцати докторов наук [94]. Кадры готовились и другими институтами и лабораториями. В этот период была возможность проводить комплексные исследования по биогеохимии с привлечением местных республиканских кадров. Это наряду с условиями теоретической разработки проблем биогеохимии и применения результатов в практике сельского хозяйства и медицины привело к возможности создания новых специальных лабораторий биогеохимии – в Институте биологии АН Киргизской ССР, в Самаркандском государственном университете, в г. Благовещенске Амурской области и в Чувашском государственном университете, в Институте биологии Дагестанского филиала АН СССР, в ИМГРЭ, ВСЕГЕИ и др. [94].

Эти достижения позволили ВАКу официально считать биогеохимию самостоятельной научной дисциплиной и разрешить организацию Специализированного совета в МГУ по присуждению ученой степени кандидата и доктора по специальности биогеохимия. После распада СССР научная специальность «биогеохимия» исчезла, как и Специализированный совет по биогеохимии при почвенном факультете МГУ им. М.В. Ломоносова.

Тем не менее, в связи с техногенными и экологическими проблемами преобразования таксонов биосферы, необходимостью дальнейшего развития методов диагностики и коррекции микроэлементозов животных и человека, а также системных исследований в данной области знания, существует объективная необходимость в подготовке кадров по специальности биогеохимия.

Развитие биогеохимии в СССР сочеталось с формированием нового научного направления - медицинской микроэлементологии. Ее основателями являются А.П. Авцын (1908–1993), российский патолог и физиолог, академик АМН СССР (1965). С 1961 – директор Института морфологии человека АМН СССР (известен своими трудами по гистопатологии нервной системы, патологической анатомии инфекционных заболеваний, цитопатологии), а также А.А. Жаворонков (1929–1994), заведующий лабораторией гео-

графической патологии НИИ морфологии человека АМН СССР (ПАМН) с 1975 г. (известен работами по морфологии человека, медицинской географии АМН СССР (ПАМН); академик РАЕН (1995); лауреат премии им. И.В. Давыдовского АМН СССР (1990); первой премии МОИП (1994) [1].

Ученые систематизировали заболевания микроэлементной природы, создав в 1983 г. оригинальную классификацию микроэлементозов. Микроэлементозы чрезвычайно широко распространены среди населения, что в немалой мере связано с ухудшением экологической обстановки и массового применения микроэлементных препаратов. Среди микроэлементозов животных и человека весьма распространены заболевания биогеохимической природы. Учение о микроэлементозах развивает профессор А.В. Скальный [170].

В настоящее время биогеохимия развивается в различных научных и учебных центрах по всей России от Москвы и Санкт-Петербурга до Новосибирска, Барнаула, Иркутска, Улан-Удэ, Хабаровска и Владивостока. Немаловажную роль в ее становлении сыграли ученые Республики Беларусь, Казахстана, Кыргызстана, Латвии, Азербайджана, Армении, Республики Молдова, Украины, Карелии.

Среди ученых, внесших заметный вклад в развитие биогеохимии как науки в течение последних 20 лет, следует отметить, прежде всего, ушедших от нас В.В. Добровольского, А.И. Перельмана и А.Л. Ковалевского (рис. 7).

Если В.В. Добровольский известен как ученый в области биогеохимии мировой суши, создатель основополагающих принципов биогеохимии как науки, изучающей взаимодействие живых организмов с окружающей средой в форме циклического массообмена химических элементов [54, 55], то А.И. Перельман известен своими работами в области геохимии ландшафтов, теории барьеров и миграции химических элементов [150, 151]. А.Л. Ковалевский является автором биогеохимии растений и активным исследователем в области биогеохимических поисков полезных ископаемых [77]. В настоящее время издано его интересная монография «Ковалевский, А.Л. Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поисков» [78]. Монография посвящена закономерностям поглощения радиоактивных элементов растениями. Установлено, что основным биогеохимическим индикатором урановых ме-

сторождений является радий. Уран и нерадиоактивные элементы – типичные спутники урановой минерализации (свинец, молибден, мышьяк, серебро, цинк, кадмий, медь, висмут, никель, кобальт, селен и ванадий) – в безбарьерных биообъектах рассмотрены как самостоятельные или дополнительные биогеохимические индикаторы. Подробно изложены вопросы теории, методики и практики биогеохимических поисков. Показано, что этот метод целесообразно применять на закрытых площадях при поисках урановых рудных тел и их лито-, гидро- и атмосферических ореолов, погребенных под покровом мощностью от 2 до 10–20 м, а иногда до 30–100 м и более.

Огромный вклад в развитие биогеохимии внесли также А.Л. Яншин [202], Г.Н.Саенко [163, 164] и М.А. Мальгин [132]. Увлекаясь космизмом, в одном из своих стихотворений Г.Н. Саенко писала:

*«Солнечный мир! Я с тобой тесно связана  
Солнечным зайчиком, Солнцем палящим,  
Нежным восходом и ярким закатом,  
Будущим, прошлым и настоящим»* [164].

Необходимо обратить внимание, что биогеохимия инициировала развитие учения о микроэлементах и микроэлементах. В МГУ им. М.В. Ломоносова в 60–80-х гг. учение о микроэлементах в почвоведении активно разрабатывалось В.А. Ковдой (1904–1991), Н.Г. Зыриным (1909–1997), Орловым Д.С. (1927–2008), Обуховым А.М., а в настоящее время профессором Мотузовой Г.В. (МГУ им. М.В. Ломоносова) и профессором В.Б. Ильиным (Институт почвоведения и агрохимии СО РАН). В области животноводства и растениеводства активно работали профессор М.А. Риш и Ю.И. Раецкая, профессор Б.А. Ягодин. Выдающиеся ученые, работавшие в области микроэлементов за рубежом – Eric J. Underwood (1905–1980), Walter Mertz (1923–2002), Professor Manfred Anke (1931–2010). Огромный вклад в биогеохимию внесла профессор Alina Kabata-Pendias (Польша). В Болгарии это профессор Pavel Ivanov Gabrachanski (1922–1992), а в Сербии – Zoran Maksimovic- Academician of Serbian Academy of Sciences and Arts и их последователи – Professor Margarita Gabrashanska – руководитель лаборатории молекулярной биологии Болгарской АН и Professor Larisa Jovanovic – президент экологического общества Сербии. Развитию биогеохимии техногенеза мы обязаны ушедшим от нас профессору Ю.Е. Саеу (1934–1988), а аналитическим аспектам биогеохимии – академику РАЕН Г.М. Колесову (1934–2012).

Ныне в области биогеохимии работает заметная группа известных ученых. Это профессор П.В. Ивашов, профессор Н.К. Христофорова, профессор Мотузова Г.В., д.б.н. Е.А. Карпова, д.б.н. М.И. Дергачева, доцент М.Д. Уфимцева, профессор В.Ф. Зайцев, профессор В.И. Воробьев, профессор С.А. Остроумов, академик РАН М.В. Иванов, академик РАН М.А. Федонкин, академик РАЕН В.А. Алексеенко, академик РЭА В.Л. Сусликов, профессор Л.П. Рихванов, член-корреспондент РАН Т.И. Моисеенко, академик РАН Н.С. Касимов, доцент Т.М. Белякова, академик РАЕН Панин М.С. (Казахстан), профессор С.А. Абдрашитова (Казахстан), профессор Дженбаев М.Б. (Кыргызстан), доктор г.-м.

наук В.Д. Корж, доктор географических наук В.Г. Линник, доцент Коробова Е.М., профессор А.Ю. Леин, профессор В.Н. Башкин, профессор Учватов В.П., доктор биологических наук Снакин В.В., кандидат геолого-минералогических наук Е.П. Янин, профессор Е.А. Романкевич, академик РАН А.П. Лисицын, профессор А.В. Пузанов, доктор биологических наук А.И. Сысо, доктор биологических наук Н.В. Барановская, доктор биологических наук Г.А. Леонова, профессор Ю.Л. Мельчаков, доцент В.А. Боев, кандидат биологических наук Петрунина Н.С., кандидат биологических наук С.Ф. Тютиков, кандидат химических наук Ю.Г.Таций и многие другие. В этот список входят ушедшие от нас профессор В.Б. Ильин, академик РАСХН В.Т. Самохин, академик РАН Добровольский Г.В., профессор М.А. Глазовская.

Необходимо подчеркнуть, что В.И. Вернадский при освещении биогеохимических проблем неоднократно подчеркивал, что объектом биогеохимии является живой организм. Однако развитие биогеохимии за рубежом пошло в направлении изучения органического вещества и остатков организмов, что обусловило формирование новых направлений в биогеохимии.

Среди зарубежных ученых-биогеохимиков следует отметить Е.Т. Degens (1928-1989). В одной из своих работ он высказал гипотезу: “We may find that the vital organs in the body of Gaia are not on land surfaces but in estuaries, wetlands, and muds on the continental shelves. There, the rate of carbon adjusts automatically to regulate the concentration of oxygen and essential elements are returned to the atmosphere”. (Мы можем обнаружить, что жизненно важные органы в теле Геи не находятся на поверхности суши, но в устьях рек, болот и грязи на континентальных шельфах. Там, скорость углерода регулируется автоматически, чтобы отрегулировать концентрацию кислорода и основные элементы возвращающиеся в атмосферу) [191].

Очень активные биогеохимики за рубежом: Jaume Bech Borrás (Barcelona State University, Soil Sciences, Biogeochemical Reconnaissance) [189], Domy C. Adriano (Savannah River Ecology Laboratory, The University of Georgia, Aiken, South Carolina, USA Ecology) [187], Violante Antonio (Neapol State University, Agrochemistry) [201].

Известен ряд зарубежных биогеохимических центров:

- Soil and Biogeochemistry Graduate Group, University of California, Davis
- International Geosphere-Biosphere Programme
- Biogeochemistry and isotope geochemistry, University of Vienna
- Biogeochemistry and environmental biocomplexity, Cornell University
- Biogeochemical Dynamics Program, Florida State University
- Biogeochemistry group, Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, UCLA
- Biogeochemistry Lab, Smithsonian Environmental Research Center
- Biogeochemistry group, Chemical engineering, Lund University
- Max-Planck-Institute for Biogeochemistry
- Complex Systems Research Center, University of New Hampshire
- Wetland Biogeochemistry Laboratory, Soil and Water Science Department,
- University of Florida

- Oxford University Biogeochemistry group
- Watershed Biogeochemistry, Trent University
- Kaye Biogeochemistry Lab, Penn State
- Soil Biogeochemistry Research Group, North Carolina State University.

Следует отметить и другие Биогеохимические центры:

- Институт почвоведения и растениеводства, Пулавы, Польша
- Барселонский государственный университет (Испания)
- Университеты Норвегии, Финляндии, Швеции, Франции, Великобритании, Австралии, Новой Зеландии, Японии, Индии, США и др.

Из достижений биогеохимии следует отметить:

- закономерности биогеохимического функционирования океана и континентов;
- количественные оценки глобальных циклов углерода, азота и серы;
- внедрение системного подхода в изучение локальных и глобальных циклов химических элементов;
- формирование и развитие новой ветви биогеохимии и экологии – геохимической экологии;
- разработка биогеохимического метода поисков полезных ископаемых;
- разработка новых биогеохимических технологий извлечения редких элементов;
- районирование таксонов биосферы;
- экологическая оценка территорий с использованием биогеохимических критериев и ряд других.

Однако существует масса нерешенных вопросов. Одна из сложных проблем биогеохимии – взаимодействие макро- и микроэлементов. Оно имеет место на космическом, планетарном, экосистемном, биогеоценотическом, внутрипопуляционном, организменном, тканевом, клеточном и молекулярном уровнях, на стадиях всасывания химических элементов и их метаболизма. В желудочно-кишечном тракте животных существуют как синергизм, так и антагонизм между ионами и соединениями макро- и микроэлементов при всасывании.

Другая актуальная проблема – диагностика комплексных микроэлементозов. Не менее важная проблема – создание технологий реконструирования локальных биогеохимических циклов, а также – дифференциация природных и техногенных составляющих циклов, зависимость статуса макро- и микроэлементов от техногенного преобразования природных комплексов.

С практической точки зрения остается нерешенной диагностика и профилактика микроэлементозов. Это очень сложная и важная проблема для здравоохранения. Данные вопросы непосредственно связаны с эффективной коррекцией микроэлементозов и оптимальным применением специальных пищевых добавок и микроудобрений в медицине, ветеринарии и растениеводстве.

Недостаточно изучены процессы всасывания микроэлементов и их регуляция, формирование пула, синтеза биологически активных соединений, включая металлопротеиды. Уровни концентраций микроэлементов в жидкостях и тканях животных в процессе онтогенеза остаются наиболее актуальными вопросами наряду с разработкой агрохимических и биогеохимических технологий на государствен-

ном уровне.

Мы недостаточно четко дифференцируем природные и техногенные составляющие циклов. Мало информации относительно зависимости статуса макро- и микроэлементов от техногенного преобразования природных комплексов.

Геологическая история эволюции и современного техногенного преобразования таксонов биосферы обуславливают гетерогенность химического состава среды обитания организмов, метаболизма макро- и микроэлементов и проявление биогеохимических эндемий.

Среди основных задач целесообразно выделить следующие:

1. Систематизация данных по биогеохимическим процессам и явлениям и формирование теоретических основ биогеохимии.
2. Развитие палеобиогеохимии и оценка современных тенденций изменения глобальных и локальных циклов химических элементов.
3. Учет (инвентаризация) живого вещества биосферы, и эволюция химического элементного и изотопного состава живого вещества. Разработка и совершенствование биогеохимических нормативов, критериев и параметров оценки экологического состояния территорий в условиях относительной нормы, природных и техногенных катастроф, экологического риска и кризиса.
4. Определение параметров и особенностей процессов концентрирования и рассеивания биологически активных химических элементов и их ассоциаций в различных звеньях биогеохимических пищевых цепей природных геохимических и техногенных аномалий. Оценка зависимости процессов концентрирования микроэлементов от видового состава организмов, барьеров, интенсивности гипергенных, в том числе микробиологических, факторов.
5. Формирование, генезис и эволюция глобальных и локальных биогеохимических эндемий.
6. Выяснение взаимодействия макро- и микроэлементов в биогеохимических циклах и организмах.
7. Изучение биогеохимии малоизученных элементов: таллия, бериллия, бария, рения. Выяснение процессов перераспределения химических элементов в среде, включая седиментацию и массообмен с атмосферой.
8. Установление и классификация биологических реакций на экстремальные геохимические факторы (выявление локальных, субрегиональных и региональных патологий развития и жизнедеятельности микроорганизмов, растений, животных и человека).
9. Исследование влияния организмов на миграционные потоки химических элементов в водных резервуарах и атмосфере. Оценка вклада организмов в фиксацию элементов из атмосферы и поступления их из организмов и литосферы в атмосферу.
10. Идентификация форм (соединений) химических элементов в окружающей среде и организмах. Развитие методологии биогеохимических исследований и методов анализа элементного и молекуляр-

ного состава природных материалов.

11. Разработка и совершенствование комплексных биогеохимических ГИС. Биогеохимическое районирование и картирование. Разработка теоретических положений взаимодействия биогеохимических потоков вещества и полей их пребывания в пространстве. Моделирование биогеохимических процессов.
12. Разработка и внедрение биогеохимических инноваций в народное хозяйство, растениеводство, медицину и ветеринарию. Совершенствование биогеохимических технологий по утилизации и обезвреживанию промышленных отходов и выбросов, содержащих высокотоксичные и радиоактивные вещества, а также внедрение новых средства их детоксикации.

Развитие биогеохимии и реализация ее идей связаны не только с глубоким познанием механизмов функционирования биосферы и ее таксонов, но и с распространением ее знаний в обществе. Это во многом зависит от преподавания основ биогеохимии в средней и высшей школе. Лек-

ции по биогеохимии, а в ряде случаев в сочетании с экологией и ландшафтоведением, читают во многих ВУЗах, например, в МГУ им. М.В. Ломоносова, в Горно-Алтайском государственном университете, Московском государственном педагогическом университете, в ВУЗах и колледжах Санкт-Петербурга, Томска, Новосибирска, Владивостока и других городов России, Казахстана, Кыргызстана, республики Беларусь, Украины, Сербии. Существует ряд учебников и пособий по биогеохимии, например, В.Н. Башкина [8], В.В. Добровольского [54], А.И. Перельмана и Н.С. Касимова [151] и других авторов [10, 48, 68, 193]. Тем не менее, в учебниках необходимо освещать не только фундаментальные классические знания по состоянию, функционированию и эволюции биосферы, но и современные биогеохимические технологии, применяемые в народном хозяйстве и здравоохранении. Это ГИС, новые препараты микроэлементов, современные технологии микроудобрений, поиски и извлечение полезных ископаемых, технологии биоиндикации экологического состояния территорий, комплексного мониторинга территорий и другие.

### Литература

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
2. Алексеева С.А. Роль геохимических факторов в формировании и дифференциации почвенных микроорганизмов // Экология популяций: Структура и динамика. – М.: РАСХН, 1995. – Т.2. – С.768–777.
3. Алексеева Т.И. Биогеохимия и проблемы антропологии. // В кн.: Современные задачи и проблемы биогеохимии. – М.: Наука, 1979. – С.110–120. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.17).
4. Алексеева Т.И. Адаптация человека в различных экологических нишах Земли (биологические аспекты). – М.: МНЭПУ, 1998. – 280 с.
5. Алексеев В.А. Основные факторы накопления микроэлементов организмами // Соросовский образовательный журнал, 2001. – Т.7. – №8. – С.20–24.
6. Антонов Ю.Г. Микроэлементы в почвах и эндемический зоб. – Изв. АН СССР. Сер. биол., 1959. – №2. – С.118–124.
7. Барбье М. Введение в химическую экологию. – М.: Мир, 1978. – 230 с.
8. Башкин В.Н. Биогеохимия. – М.: Научный мир, 2004. – 582 с.
9. Безель В.С., Большаков В.Н., Воробейчик Е.Л. Популяционная экотоксикология. – М.: Наука, 1994. – 80 с.
10. Безуголова О.С., Орлов Д.С. Биогеохимия. – Ростов н/Д: «Феникс», 2000. – 320 с.
11. Берзинь Я.М. Значение кобальта и меди в кормлении сельскохозяйственных животных. // В кн.: Микроэлементы в жизни растений и животных. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – С.473–492.
12. Белякова Т.М. Фтор в водах лесостепных ландшафтов района Кокчетавского гранитного массива // Геохимия ландшафтов и география почв. – М.: изд-во МГУ, 1982. – С.
13. Биологическая роль меди: Симпоз., 4–6 апреля 1967 г. / Под ред. В.В. Ковальского. – М.: Наука, 1970. – 379 с.
14. Биологическая роль йода. – М.: Колос, 1972. – 192 с.
15. Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине / Ред. Я.В. Пейве. – М.: Наука, 1974. – С.438.
16. Бойко Е.В., Белоусов М.А. Геохимия и биология минеральных удобрений. – Химизация соц. земледелия, 1934. – Т.3. – №2. – С.112–117.
17. Бойченко Е.А. Участие соединений металлов в органической эволюции // Физиологическая роль и практическое применение микроэлементов. – Рига: Зинатне, 1976. – С.54–66.
18. Боровик С.А., Боровик-Романова Т.Ф. Метод количественного определения стронция в волах организмов // Труды Биогеохимической лаборатории. – М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1937. – Т.IV. – С.259–264.
19. Брукс Р.Р. Биологические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 311 с.
20. Бумбу Я.В. Биогеохимия микроэлементов в растениях, почвах и природных водах Молдавии. – Кишинев: Штиинца, 1981. – 274 с.
21. Вадковская И.К. Биогеохимическая характеристика природных условий местообитаний Сожской и Березинской популяций бобров: Автореф. ... дис. канд. биол. наук. – Минск, 1972. – 30 с.
22. Вернадский В.И. Биосфера, очерки первый и второй. – Л.: Науч.-техн. изд-во, 1926. – 146 с.
23. Вернадский В.И. Биогеохимические очерки (1922–1932 гг.). – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – 250 с.
24. Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии. – М.: Наука, 1980. – 226 с. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.16).
25. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. – М.: Наука, 1965. – 374 с.
26. Викторов С.В., Востокова Е.А., Вышивкин Д.Д. Введение в индикационную геоботанику. – М.: Изд-во МГУ, 1962. – 227 с.
27. Виноградов А.П. Исследование химического состава планктона: Анализ планктона из Екатерининского пруда в селе // Тр. Биогеохим. лаб., 1930. – Т.1. – С.33–48.
28. Виноградов А.П. Ванадий в организмах // Тр. Биогеохим. лаб., 1932. – Т.2. – С.1–7.
29. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов моря. // Тр. Биогеохим. лаб., 1935. – Т.4. – Ч.2. – С.63–278; 1937. – Т.6. – С.225; 1944. – С.273.
30. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов моря. // Отв. редактор акад. Галимов Э.М., редак-

- тор составитель Виноградова Л.Д. – М.: «Наука», 2001. – 620 с.
31. Виноградов А.П. Биогеохимические провинции и эндемии // Докл. АН СССР, 1938. – Т.18. – №4–5. – С.283–286.
  32. Виноградова Л.Д. Академик А.П. Виноградов – жизнь отданная науке // История науки и техники. – М., 2003. – №6. – С.225.
  33. Виноградов А.П. О причинах происхождения урвской болезни // Тр. Биогеохим. лаб., 1949. – Т.9. – С.5–29.
  34. Виноградов А.П. Поиск рудных месторождений по растениям и почвам // Тр. Биогеохим. лаб., 1951. – Т.10. – С.3–27.
  35. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 298 с.
  36. Власюк П.А., Онищенко И.К. Новые удобрения из отходов химической, металлургической и рудной промышленности. – Киев, 1935. – 183 с.
  37. Войткевич Г.В., Холодков Ю.П. Следы древней жизни на Земле. – Ростов н/Д: Изд-во Рост. Ун-та, 1976. – 98 с.
  38. Вопросы биогеохимических эндемий в Казахстане. – Алма-Ата, 1975. – 170 с. (Тр. Ин-та краевой патологии; Т.30).
  39. Воробьев В.И. Применение микроэлементов в рыбководстве и некоторые методические аспекты изучения этой проблемы // Роль микроэлементов в жизни водоемов. – М.: Наука, 1980. – С.5–23.
  40. Воробьев В.И. Биогеохимия и рыбководство. Саратов: изд-во «Литера», 1993. – 220 с.
  41. Всесоюзная конференция по проблемам микроэлементов в биологии (12–16 октября 1981): Докл. Науч. совета АН СССР по проблемам микроэлементов в биологии. – Кишинев: Штиинца, 1981. – 216 с.
  42. VIII Всесоюзная конференция по проблемам микроэлементов в биологии (24–27 мая 1978 г. Ивано-Франковск) «Биологическая роль микроэлементов». – М.: Наука, 1983. – 238 с.
  43. Галимов Э.М. Изотопы природы в нефтегазовой геологии. – М.: Недра, 1973. – 384 с.
  44. Галимов Э.М. Природа биологического фракционирования изотопов. – М.: Наука, 1981. – 247 с.
  45. Георгиевский В.И., Анненков Б.П., Самохин В.Т. Минеральное питание животных. – М.: Колос, 1970. – 471 с.
  46. Генералова В.Н., Кудина Л.А. и др. О природе ископаемого спорополенина // Геохимия, 1974. – №6. – С.904–916.
  47. Гололобов А.Д. Жизнеспособность и продуктивность сельскохозяйственных животных в районах с повышенным содержанием меди, никеля и кобальта в почвах, кормах и питьевой воде. // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1953. – 22 с.
  48. Голубев И.М. Геохимическая экология и применение ее региональных данных в преподавании химии и биологии. – М.: Прометей, 1992. – 162 с.
  49. Грибовский Г.П. Ветеринарно-санитарная оценка основных загрязнителей окружающей среды на Южном Урале. – Челябинск, 1996. – 225 с.
  50. Грибовский Г.П., Грибовский Ю.Г., Плохих Н.А. Биогеохимические провинции Урала и проблемы техногенеза // Тр. Биогеохим. лаб., 2003. – Т.24. – С.174–187.
  51. Гринкевич Н.И. Изучение лекарственных растений в геохимическом аспекте // Современные задачи и проблемы биогеохимии. – М.: Наука, 1979. – С.171–177. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.17).
  52. Густун М.И. Обмен йода в организме овец в условиях недостаточного его содержания в кормах и питьевых водах. // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1960. – 16 с.
  53. Дженбаев Б.М. Геохимическая экология наземных организмов. – Бишкек: изд-во НАН Кирг., 2009. – 240 с.
  54. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. – М.: Высшая школа, 1998. – 413 с.
  55. Добровольский В.В. Биогеохимия мировой суши: избранные труды. – М.: Научный мир, 2009. – Т.1–III. – 440 с.
  56. Дроздова Т.В. Органическое вещество скелетов ископаемых беспозвоночных // Проблемы геохимической экологии организмов. – М.: Наука, 1974. – С.235–269. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.13).
  57. Дроздова Т.В., Соколов Б.С. Палеобиогеохимия // Современные задачи и проблемы биогеохимии. – М.: Наука, 1979. – С.37–45. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.17).
  58. Ермаков В.В. Роль биогеохимии в условиях техногенеза биосферы // Фундаментальные и инновационные аспекты биогеохимии: Материалы VII международной Биогеохимической Школы / Отв. Ред. В.В. Ермаков. – М.: ГЕОХИ РАН, 2011. – С.4–8.
  59. Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. – М.: Наука, 1974. – 294 с.
  60. Ермаков В.В., Ковальский Ю.В. Проблема биоритмов в работах В.В. Ковальского // Развитие идей континентальной биогеохимии и геохимической экологии: Материалы VI–XII Биогеохимических чтений, посвященных памяти В.В. Ковальского (2006–2010 гг.) / Отв. Ред. В.В. Ермаков. – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С.137–144.
  61. Ермаков В.В., Летунова С.В., Алексеева С.А. и др. Геохимическая экология организмов в условиях Южно-Ферганского ртутного субрегиона биосферы // Тр. Биогеохим. лаб., 1991. – Т.22. – С.24–69.
  62. Ермаков В.В., Мойсеев А.Г., Самохин В.Т., Сафонов В.А., Мухомов В.И., Василькевич И.Г., Пеховская Т.А. Преодоление недостаточности селена и йода в организме человека и животных: формирование межгосударственной программы // Материалы V Международной биогеохимической школы «Актуальные проблемы геохимической экологии». – Семипалатинск: СГПИ, 2005. – С.285–289.
  63. В.В. Ермаков, В.А. Сафонов, Т.А. Грицаенко, В.Б. Хабаров. Фтор в биосфере: биологическая роль и биогеохимические провинции // Развитие идей континентальной биогеохимии и геохимической экологии: Материалы VI–XII Биогеохимических чтений, посвященных памяти В.В. Ковальского (2006–2010 гг.) / Отв. Ред. В.В. Ермаков. – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С.22–39.
  64. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф. Геохимическая экология животных. – М.: Наука, 2008. – 315 с.
  65. Жарников И.И., Балдаев Н.С., Собенникова Ф.Ф. Белково-витаминное и минеральное питание сельскохозяйственных животных. – Улан-Удэ: Бурят, кн. изд-во, 1973. – 183 с.
  66. Жизневская Г.Я. Медь, молибден и железо в азотном обмене бобовых растений. – М.: Наука, 1972. – 335 с.
  67. Ивашов П.В. Биогеохимия почвенного покрова. – М.: Наука, 1993. – 379 с.
  68. Излев А.М. Биогеохимия. – М.: Высшая школа, 1986. – 124 с.
  69. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2001. – 231 с.
  70. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
  71. Кабата-Пендиас А. Проблемы современной биогеохимии микроэлементов // Российский химический журнал, 2005. – №3. – С.15–19.
  72. Кабыш А.А. Эндемическая остеоидиострофия крупного рогатого скота на почве недостаточности кобальта и марганца и избытка магния, никеля, стронция и бария. //

- Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Л., 1964. – 48 с.
73. Кабыш А.А. Нарушение фосфорно-кальциевого обмена у животных на почве недостатка и избытка микроэлементов в зоне Южного Урала. – Челябинск: ОАО «Челябинский Дом печати», 2006. – 408 с.
  74. Капительчук М.В., Капительчук И.П., Голубкина Н.А. Аккумуляция и миграция селена в компонентах биогеохимической цепи «почва – растения – человек» в условиях Молдавии // Поволжский экологический журнал, 2011. – №3. – С.323–335.
  75. Карпова Е.А. Влияние длительного применения удобрений на состояние железа и тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах // Почвоведение, 2006. – №9. – С.1059–1067.
  76. Каталимов М.В. Микроэлементы и микроудобрения. – М.-Л.: Химия, 1965. – 330 с.
  77. Ковалевский А.Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. – М.: Недра, 1974. – 143с.
  78. Ковалевский, А.Л. Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поисков. / А.Л. Ковалевский, О.М. Ковалевская; Науч. ред. д.г.-м.н. А.М. Плюснин. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. – 362 с.
  79. Ковальский В.В. Периодическая изменчивость химических свойств организмов и ее биологическое значение // Успехи соврем. биологии, 1941. – №14. – Вып.3. – С.380–423.
  80. Ковальский В.В. Роль наследственности в приспособительных изменениях водного обмена у близких видов // Укр. биохим. журн., 1953. – Т.23. – №3. – С.343–347.
  81. Ковальский В.В. Значение кобальта для животного организма // Микроэлементы в жизни растений и животных. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – С.437–465.
  82. Ковальский В.В. Новые направления и задачи биологической химии сельскохозяйственных наук в связи с изучением биогеохимических провинций. – М.: М-во сел. хоз-ва СССР, 1958. – 43 с.
  83. Ковальский В.В. Проблемы микроэлементов в животноводстве // Вопросы химизации животноводства. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С.191–209.
  84. Ковальский В.В. Возникновение и эволюция биосферы // Успехи соврем. биологии, 1963. – Т.55. – Вып.1. – С.45–67.
  85. Ковальский В.В. Применение микроэлементов в кормлении сельскохозяйственных животных. – М.: Колос, 1964. – 21 с.
  86. Ковальский В.В. Искусственное изменение кобальтовых пищевых цепей в рыболовных прудах // Изв. АН СССР. Сер. биол., 1967. – №6. – С.869–878.
  87. Ковальский В.В. Геохимическая экология: Очерки. – М.: Наука, 1974. – 299 с.
  88. Ковальский В.В. Химическая среда, здоровье, болезни // Теория и методика географических исследований экологии человека. – М.: Ин-т географии АН СССР, 1974. – С.95–111.
  89. Ковальский В.В. Геохимическая среда, здоровье, болезни // Физиологическая роль и практическое применение микроэлементов. – Рига: Зинатне, 1976. – С.177–192.
  90. Ковальский В.В. Геохимическая экология – основа системы биогеохимического районирования // Биогеохимические циклы в биосфере. – М.: Наука, 1976. – С.519–641.
  91. Ковальский В.В. Современные проблемы биогеохимии // Современные задачи и проблемы биогеохимии. – М.: Наука, 1979. – С.12–29. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.17).
  92. Ковальский В.В. Системная организованность биогенного цикла химических элементов // Биогеохимическое районирование и геохимическая экология. – М.: Наука, 1981. – С.189–202. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.19).
  93. Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь. – М.: Наука, 1982. – 76 с.
  94. Ковальский В.В. 60 лет биогеохимии в СССР // Биогеохимическое районирование и геохимическая экология (Тр. Биогеохим. лаб. Т.20). – М.: Наука, 1985. – С.5–24.
  95. Ковальский В.В. Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии/ сост. Ю.В. Ковальский. – М.: Россельхозакадемия, 2009. – 357 с.
  96. Ковальский В.В., Аливердиев А.А., Риш М.А. и др. Эндемическая атаксия, причины ее возникновения и меры предупреждения // Доклады ВАСХНИЛ, 1968. – №12. – С.17–19.
  97. Ковальский В.В., Аканичев А.В., Шахова И.К. Борная биогеохимическая провинция Северо-Западного Казахстана // Агрохимия, 1965. – №11. – С.153–169.
  98. Ковальский В.В., Андриянова Г.А. Микроэлементы в почвах СССР. – М.: Наука, 1970. – 180 с.
  99. Ковальский В.В., Блохина Р.И. Значение кобальта в возникновении эндемического увеличения щитовидной железы в условиях биогеохимической провинции, бедной иодом и кобальтом // Пробл. эндокринологии, 1963. – №6. – С.42–46.
  100. Ковальский В.В., Блохина Р.И. Геохимическая экология эндемического зоба // Проблемы геохимической экологии рганизмов. – М.: Наука, 1974. – С.191–216. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.13).
  101. Ковальский В.В., Блохина Р.И., Засорина Е.Ф., Никитина И.И. Стронцевые геохимические провинции Таджикистана // Тр. Биогеохим. лаб., 1968. – Т.12. – С.123–203.
  102. Ковальский В.В., Воротническая И.Е., Лекарев В.С., Никитина Е.В. Урановые биохимические пищевые цепи в условиях Иссык-Кульской котловины // Тр. Биогеохим. лаб., 1968. – Т.12. – С.5–122.
  103. Ковальский В.В., Цой Г.Г., Воротническая И.Е. Адаптивные изменения ксантинооксидазы в условиях молибденовых и медных биогеохимических провинций // Проблемы геохимической экологии организмов: Тр. Биогеохим. лаб., 1976. – Т.14. – С.20–47.
  104. Ковальский В.В., Грибовская И.Ф., Гринкевич Н.И. Роль геохимических условий среды в концентрировании микроэлементов растениями // Проблемы геохимической экологии организмов. – М.: Наука, 1974. – С.144–179. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.13).
  105. Ковальский В.В., Грибовская И.Ф., Чернова В.И., Резаева Л.Т. Концентрирование микроэлементов асцидиями Охотского моря // Проблемы геохимической экологии организмов. – М.: Наука, 1974. – С.217–223. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.13).
  106. Ковальский В.В., Густун М.И. Участие микроэлементов в биосинтезе гормонов щитовидной железы // Вести, с.-х. науки, 1966. – №3. – С.77–80.
  107. Ковальский В.В., Ездакова Л.А. Литий животном организме // Биогеохимическое районирование – метод изучения экологического строения биосферы. – Наука, 1978. – С.156–174. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.15).
  108. Ковальский В.В., Коробова Е.М. Борные субрегионы биосферы и биогеохимические провинции в аридных условиях // Биогеохимическое районирование – метод изучения экологического строения биосферы. – М.: Наука, 1978. – С.58–70. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.15).
  109. Ковальский В.В., Летунова С.В. Экология порогового действия химических элементов на микроорганизмы почв и илов условиях биогеохимических провинций // Биогеохимические провинции и проблемы геохимической экологии организмов. – М.: Наука, 1981. – С.3–19. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.14).
  110. Ковальский В.В., Макарова А.И. Субрегионы биосферы и

- биогеохимические провинции Армении, обогащенные свинцом // *Биогеохимическое районирование – метод изучения экологического строения биосферы.* – М.: Наука, 1978. – С.75–88. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.15).
111. Ковальский В.В., Масляная М.К. Эндемическое полегание злаков. – *Агрохимия*, 1964. – №1. – С.93–109.
112. Ковальский В.В., Петрунина Н.С. Геохимическая экология и эволюционная изменчивость растений // *Проблемы геохимии.* – М.: Наука, 1965. – С.565–577.
113. Ковальский В.В., Раецкая Ю.И. Синтез витамина В<sub>12</sub> в организме овец под влиянием кобальта и кальция в биогеохимической провинции, бедной кобальтом // *Докл. АН СССР*, 1955. – Т.100. – №6. – С.1131–1134.
114. Ковальский В.В., Раецкая Ю.И. Витамин В<sub>12</sub> в организмах сельскохозяйственных животных в биогеохимических провинциях с различным содержанием кобальта // *Тр. Биогеох. лаб.*, 1960. – Т.11. – С.102–108.
115. Ковальский В.В., Раецкая Ю.И., Грачева Т.И. Микроэлементы в растениях и кормах. – М.: Колос, 1971. – 235 с.
116. Ковальский В.В., Резаева Л.Т. Содержание ванадия в крови асцидий *Ascidia aspersa* // *Докл. АН СССР*, 1982. – Т.148. – №1. – С.238–240.
117. Ковальский В.В., Струк М.И., Ладан А.П. Роль йода в ликвидации бесплодия коров в зоне йодной недостаточности Амурской области // *Докл. ВАСХНИЛ*, 1970. – №11. – С.24–26.
118. Ковальский В.В., Яровая Г.А., Шмаванян А.Г. Изменения пуринового обмена у человека и животных в условиях молибденовых биогеохимических провинций // *Изв. АН СССР. Сер. биол.*, 1961. – №3. – С.179–191.
119. Ковальский В.В., Яровая Г.А. Биогеохимические провинции, обогащенные молибденом // *Агрохимия*, 1966. – №8. – С.68–91.
120. Ковда В.А. Биосфера и почвенный покров // *Современные задачи и проблемы биогеохимии.* – М.: Наука, 1979. – С.46–54. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.17).
121. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. – М.: Наука, 1985. – 265 с.
122. Корж В.Д. Геохимия элементного состава гидросферы. – М.: Наука, 1991. – 243 с.
123. Корובה Е.М., И.Н. Ивановская. Из истории организации В.И. Вернадским региональных биогеохимических исследований // *Материалы 2-й Российской школы «Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы (тезисы, доклады, воспоминания).* – М.: ГЕОХИ РАН, 1999. – С.8–9.
124. Корובה Е.М. Я был, есть и буду его учеником // *Природа*, 1990. – №6. – С.124–128.
125. Кривоуцкий Д.А., Покаржевский А.Д. Введение в биогеоценологию. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 102 с.
126. Кузнецов С.П., Каравайко Г.И. Роль микроорганизмов в геохимических процессах передвижения элементов в земной коре // *Современные задачи и проблемы биогеохимии.* – М.: Наука, 1978. – С.91–100. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.17).
127. Ладан А.И. Содержание и соотношение химических элементов в Зейской биогеохимической провинции Приамурья и пути повышения продуктивности животных // *Вопросы сельскохозяйственного освоения зоны БАМ в Амурской области.* – Благовещенск, 1978. – С.33–34.
128. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М. и др.; Отв. ред. В.Л. Кротович. Почему растения лечат. – М.: Наука, 1989. – 254 с.
129. Летунова С.В., Ковальский В.В. Геохимическая экология микроорганизмов. – М.: Наука, 1978. – 247 с.
130. Микроэлементы в биосфере Карелии и сопредельных районов. – Петрозаводск, 1976. – 192 с.
131. Микроэлементы в растениеводстве // *Физиологическая роль и практическое применение микроэлементов.* – Рига: Зинатне, 1976. – С.123–176.
132. Мальгин М.А. Биогеохимическая обстановка территории как существенный фактор, определяющий ее функционирование // *Материалы 2-й Российской Школы «Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы».* – М.: ГЕОХИ РАН, 1999. – С.88–89.
133. Малюга Д.П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 264 с.
134. Манская С.М., Дроздова Т.В. Геохимия органического вещества. – М.: Наука, 1964. – 315 с.
135. Манская С.М., Кодина Л.А. Геохимия лигнина. – М.: Наука, 1975. – 230 с.
136. Микроэлементы в почвах Терско-Сулакской низменности Дагестана. – Махачкала, 1981. – 184 с.
137. Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П. и Гашкина Н.А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. – М.: Наука. – 261 с.
138. Мурсалиев А.М., Суднищина И.Г., Горбунова Н.В. Биогеохимическая инвентаризация флоры Киргизской ССР. – Фрунзе: Илим, 1976. – 141 с.
139. Монин М.А., Романкевич Е.А. Проблемы биогеохимии мирового океана. // *В кн.: Современные задачи и проблемы биогеохимии.* – М.: Наука, 1974. – С.74–83. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.17).
140. Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 166 с.
141. Несветайло И.Т. Поиски руд по растениям. – М.: Недра, 1979. – 97 с.
142. Новиков Ю.В. Гигиенические вопросы изучения содержания урана во внешней среде и его влияние на организм. – М.: Медицина, 1974. – 232 с.
143. Ноздрин Л.Ю., Зайцев В.Ф., Мелякина Э.И. Микроэлементный состав органов и тканей Каспийского тюленя // *Фундаментальные и инновационные аспекты биогеохимии: Материалы VII международной Биогеохимической Школы / Отв. Ред. В.В. Ермаков.* – М.: ГЕОХИ РАН, 2011. – С.9–12.
144. Ноздрюхина Л.Р. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. – М.: Наука, 1977. – 184 с.
145. Оглоблин К.Ф., Халиф-Заде Ч.М. Распространение урана в раковинах современных и ископаемых моллюсков // *Геохимия*, 1974. – №2. – С.105–111.
146. Памяти первых российских биогеохимиков. – М.: Наука, 1994. – 222 с.
147. Панин М.С. Экология почв: учеб. для вузов. Семипалат. гос. пед. ин-т. – Алматы, 2008. – 528 с.
148. Пейве Я.В. Микроэлементы в сельском хозяйстве нечерноземной полосы СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 203 с.
149. Пейве Я.В. Руководство по применению микроэлементов. – М.: Изд-во с.-х. лит., 1964. – 224 с.
150. Перельман А.И. Геохимия ландшафтов. – М.: Высш. ш., 1979. – 423 с.
151. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. – М.: Астрель, 1999. – 763 с.
152. Петрунина Н.С. Геохимическая экология растений в провинциях с избыточным содержанием микроэлементов (никеля, кобальта, меди, молибдена, свинца и цинка) // *Проблемы геохимической экологии растений.* – М.: Наука, 1974. – С.57–117. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.13).
153. Покаржевский А.Д. Геохимическая экология наземных жи-

- вотных. – М.: Наука, 1985. – 300 с.
154. Полкарпочкин В.В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния. – Новосибирск: Наука, 1976. – 407 с.
  155. Потатуева Ю.А. Эффективность микроэлементов в растениеводстве по регионам страны // Биологическая роль микроэлементов. – М.: Наука, 1983. – С.161–170.
  156. Пузанов А.В. Биогеохимическое районирование и ландшафтно-геохимическая структура Тувинской горной области // Ползуновский вестник, 2005. – №4. – С.148–152.
  157. Ринькис Г.Я. Оптимизация минерального питания растений. – Рига: «Зинатне», 1972. – 355 с.
  158. Ринькис Г.Я., Романе Х.К., Пазгле Г.В. Основы оптимизации минерального питания растений // Макро- и микроэлементы в минеральном питании растений. – Рига: Зинатне, 1979. – С.29–83.
  159. Риш М.А., Даминов Р.А., Абдуллаев Д.В. Биогеохимическое районирование и эндемические заболевания сельскохозяйственных животных Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1980. – 150 с.
  160. Романкевич Е.А. Геохимия органического вещества в океане. – М.: Наука, 1977. – 256 с.
  161. Ронов А.Б. Осадочная оболочка Земли. – М.: Наука, 1980. – 78 с.
  162. Савченко В.В. Геохимическая экология организмов в условиях загрязнения тяжелыми металлами русла и поймы р. Свислочи, Беларусь // Материалы 2-й Российской школы «Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы (тезисы, доклады, воспоминания). – М.: ГЕОХИ РАН, 1999. – С.124–125.
  163. Саенко Г.Н. Металлы и галогены в живых организмах. – М.: Наука, 1992. – 200 с.
  164. Саенко Г.Н. Владимир Иванович Вернадский. Ученый и мыслитель. – М.: Наука, 2002. – 235 с.
  165. Самойлов Я.В. К вопросу о перемещениях кремнезема в осадочных отложениях // Записки геологического отделения общества любителей естествознания, 1917. – С.89–95.
  166. Самойлов Я.В. Биолиты как орудие постижения жизни прежних геологических эпох // Природа, 1921. – №1–3. – С.25–41.
  167. Самойлов Я.В. Биолиты. – Л.: НХТИ, НтуВ, 1929. – 139 с.
  168. Самохин В.Т. Профилактика обмена микроэлементов у животных. – Воронеж: изд.-во Воронежского гос. университета, 2003. – 136 с.
  169. Симорин А.М. Проблема Кашин-Бекоевской (Уровской) эндемии в Восточном Забайкалье // Вестник АН СССР, 1936. – №1. – С.81–90.
  170. Скальный А.В. Микроэлементы: бодрость, здоровье, долголетие. – М.: Эксмо, 2010. – 270 с.
  171. Смирнова Е.И. Роль йода в воспроизводительной функции крупного рогатого скота // Биологическая роль йода. – М.: Колос, 1972. – С.90–101.
  172. Соколов Б.С. Докембрийская биосфера в свете палеонтологических данных // Вестн. АН СССР, 1972. – №8. – С.5–18.
  173. Соколов Б.С. Органический мир на пути к фанерозойской дифференциации. – М., 1976. – 20 с.
  174. Соколов В.А. Кембрийское ванадиевое море // Докл. АН СССР, 1974. – Т.6. – №1. – С.75.
  175. Сторожева М.М. Тератологические явления у анемоны (*Pulsatilla patens* (L.) Mill) в условиях никелевого рудного поля // Тр. Биогеох. лаб., 1954. – Т.10. – С.64–75.
  176. Султанов К.М., Эфендиев Х.М. Распределение свинца в современных каспийских и ископаемых пелеципод апшеронского яруса и современного Каспия // Учен. зап. Азерб. ун-та. Сер. геол.-геогр., 1969. – №1. – С.11–31.
  177. Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней. IV. Атеросклероз. – Чебоксары: изд-во Чувашского ун-та, 2011. – 380 с.
  178. Сусликов В.Л., Семенов В.Д. Биогеохимическое районирование Чувашской АССР // Биогеохимическое районирование и геохимическая экология. – М.: Наука, 1981. – С.65–85. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т.19).
  179. Толмачева Н.В., Сусликов В.Л. К физиолого-экологическому обоснованию оптимальной обеспеченности организма человека биоэлементами (атомовитами) // Вестник ОГУ, 2006. – №12. – Приложение «Биоэлементология». – С.260–262.
  180. Тома С.И., Рабинович И.Э., Велисар С.Г. Микроэлементы и урожай. – Кишинев: Штиинца, 1980. – 175 с.
  181. Удельнова Т.М., Пушева М.А. и др. Содержание некоторых металлов в синезеленых водорослях // Микробиология, 1974. – №6. – С.1064–1068.
  182. Федонкин М.А. Сужение геохимического базиса жизни и эволюция биосферы: причинная связь // Палеонтологический журнал, 2003. – №6. – С.33–40.
  183. Школьник М.Я. Значение микроэлементов в жизни растений и земледелии. – М.-Л.: изд-во АН СССР, 1950. – 512 с.
  184. Школьник М.Я., Макарова Н.А. Микроэлементы в сельском хозяйстве. – М.-Л.: АН СССР, 1957. – 292 с.
  185. Шумилин И.С., Лепешкин Д.В., Бахтин С.Н., Артюшкин А.М., Смолинский Е.Н., Овчаренко М.М., Пуховский А.В., Логинов Ю.М., Дегтярев В.П. Минеральный состав кормов по экономическим районам Российской Федерации (справочник). – М.: ЦИНАО, 1995. – 135 с.
  186. Ягодин Б.А. Кобальт в жизни растений. – М.: Наука, 1970. – 345 с.
  187. Adriano D.C. Trace Elements in Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. – New York: Springer, 2001. – 867 p.
  188. Anke M.K. Iodine // Elements and their Compounds in the Environment. Eds. By E. Merian, M. Anke, M. Ilnat, M. Stoepler. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2004. – Vol.3. – P.1457–1495.
  189. Bech J. Research strategies for metalophytes: some examples from Andes (South America) // Ermakov V.V., Korobova E.M., eds. Biogeochemistry and Geochemical Ecology. – М.: GUN NPC TMG MZ RF, 2001. – P.159–168.
  190. Brooks R.R. Geobotany and biogeochemical mineral exploration. – N.Y., 1972. – 290 p.
  191. Degens, E.T., S. Kempe J. Richey (Eds.) (1991): Biogeochemistry of Major World Rivers. SCOPE Report 42, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, J. Wiley Sons, 1991. – 356 p.
  192. Gabrashanska M., S.E. Teodorova, M. Anisimova. Antioxidant vitamins and trace elements in rats after *Fasciola hepatica* infection and zinc treatment, Mathematical model for host growth and zinc levels in the host // Parasitology Research, 2008. – Vol.104. – №1. – P.69–78.
  193. Jovanovic L.N. Industry standards of quality and safety in the food industry and primary production. – Beograd, 2012. – 268 p.
  194. Kabata-Pendias A., Pendias H. Biogeochemistry of trace elements, PWN. – Warsaw, 1999. – 400 p. (in Polish).
  195. Kovalskij V.V. Geochemische Ökologie Biogeochemie. – Berlin: Veb Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1977. – 355 p.
  196. Kovalsky V.V. Geochemical ecology and problems of health. – Philos. Trans. Soc. I B, 1979. – Vol.288. – P.185–191.
  197. Liebig, J. Ueber einen neuen Apparat zur Analyse organischer Körper, und über die Zusammensetzung einiger organischer Substanzen», Annalen der Physik, 1831. – Т.21. – P.1–47.
  198. Maksimovic Z., Djujic I., Rsumovic M., Jovic V. Selenium defi-

- ciency in Yugoslavia and possible effects on health // *Environ. Geochem. and Health.*, 1991. – Vol.14. – №1. – P.1–5.
199. *The Atlas of Endemic Disease and Their Environments in the People's Republic of China.* – Beijing: Science Press, 1985.
200. Vinogradov A.P. *The elementary composition of marine organisms.* – New Haven, 1953. – P.647.
201. Violante A., Cozzolino V., Perelomov L., Caporale A.G., Pigna M. *Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments* // *J. Soil. Sci. Plant Nutr.*, 2010. – Vol.10. – №3. – P.268–292.
202. Yanshin A.L., Yanshina F.T. *The doctrine of V.I. Vernadsky about the biosphere and its significance in our time*// Ermakov V.V., Korobova E.M., eds. *Biogeochemistry and Geochemical Ecology.* – M.: GUN NPC TMG MZ RF, 2001. – P.5–11.

# ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ



## О БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В.А. Алексеенко

НГМУ, г. Новороссийск, Россия  
ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия

**Abstract.** *These factors in many ways determine the possibility of carrying out the search of mineral deposits with the biogeochemical method.*

### Введение

Одним из важнейших прикладных направлений геохимии являются поиски месторождений полезных ископаемых геохимическими методами. Этих методов достаточно много. Их использование должно приводить к выявлению или непосредственно месторождений полезных ископаемых (отдельных тел), или, что бывает гораздо чаще, к выявлению ореолов повышенных содержаний определенных элементов, окружающих эти месторождения (составляющие их тела). Ореолы могут формироваться одновременно с месторождениями и быть результатами тех же процессов, которые привели к образованию месторождений. Такие ореолы получили название первичных. Так как месторождения полезных ископаемых определяются геолого-экономическими факторами, то окружающие их ореолы могут, при определенных условиях, сами становиться полезными ископаемыми. Ореолы, образующиеся при разрушении тел полезных ископаемых, получили название вторичных или ореолов рассеяния.

Выявление первичных и вторичных ореолов (также как и их образование) имеет свои специфические особенности. Среди первичных ореолов обычно выделяют ореолы элементов-индикаторов и термобарогеохимические ореолы. Вторичные ореолы чаще всего подразделяются на литохимические ореолы и потоки, гидрогеохимические, атмосферические, шлиховые (шлихогохимические, шливовзрывные), биогеохимические.

Эта работа посвящена проведению поисков биогеохимическими методами. Собственно биогеохимические методы поисков основаны на выявлении биогеохимических аномалий, связанных с биогенной аккумуляцией химических элементов над месторождениями и отдельными телами полезных ископаемых. Для обнаружения перспективных биогеохимических аномалий необходимо знать,

какие процессы и факторы, кроме наличия тел полезных ископаемых, оказывают влияние на содержание элементов в растениях.

Своеобразным толчком к изучению особенностей биогенной аккумуляции химических элементов живым веществом (и в частности растениями) послужили основополагающие работы по биогеохимии великого ученого Владимира Ивановича Вернадского. Современное развитие биогеохимии (и как ее части биогеохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых) базируется на открытых им законах. Среди них, в первую очередь, выделим законы о всеобщем рассеянии химических элементов:

*В любом природном объекте Земли (в любой геохимической системе) содержатся все химические элементы, находящиеся в ее коре.*

О генетическом единстве земной коры:

*Составляющие земную кору биосфера, стратисфера, метаморфическая и гранитная оболочки генетически связаны между собой и, взятые в целом, представляют одно явление.*

О миграции элементов в биосфере:

*Миграция химических элементов в биосфере происходит при непосредственном участии живого вещества, или же она протекает в среде, геохимические особенности которой обусловлены живым веществом, существовавшим и существующим в биосфере со времени ее образования.*

### Основные факторы концентрации химических элементов растениями

Несколько условно эти основные факторы можно объединить в три большие группы:

1) внутренние, биохимические, определяемые биохими-

**Таблица 1.** Распределение элементов в листьях дуба, граба и бука, опробованных на одних и тех же точках отбора проб (Западный Кавказ)

Растение	Число проб	Элемент	Закон распределения*	Среднее квадратичное отклонение	Содержание, % ( $n \times 10^{-3}$ )			
					фоновое	аномальное для проб		единичных
						коррелирующихся		
		9	2					
Дуб	33	Ni	л	1,6	5,4	8,8	13,9	23
Граб	40	–	л	2	4,4	8,9	17,3	36
Бук	35	–	л	1,9	5,5	10,7	20	40
Дуб	33	Cu	н	3	8	10,9	13,8	16,8
Граб	40	–	л	1,4	6,8	8,1	11,4	16,3
Бук	35	–	л	2,4	8,9	11,5	14,8	19,3
Дуб	33	Pb	н	0,8	1,66	2,5	3,6	4,1
Граб	40	–	н	0,98	2,02	3	3,9	5
Граб	40	Zn	л	2,46	2,52	6,2	14,7	37,6
Бук	35	–	н	9,6	15	24,5	33,7	43,7

Примечания: \*л – логнормальный закон; н – нормальный.

мическими особенностями конкретного вида организмов;

- 2) внешние, ландшафтно-геохимические, определяемые условиями среды обитания (произрастания) организмов;
- 3) внутренние, кристаллохимические, определяемые свойствами ионов, входящих в состав растений и животных.

Вероятнее всего внутренние биохимические факторы во многом должны определяться кристаллохимическими факторами. Однако пока такие связи между биохимическими особенностями организмов и строением ионов изучены явно недостаточно. Дальнейшее развитие биогеохимии должно дать ответ на вопросы о таких связях.

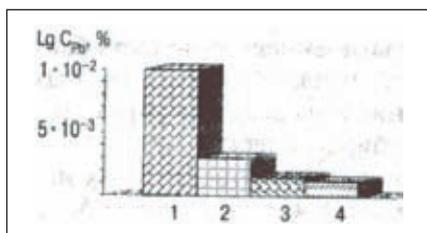
1. *Биохимические факторы накопления химических элементов организмами.* Влияние этих факторов на концентрацию химических элементов в организмах к настоящему времени изучено наиболее полно. Отметим важнейшие из них.

Во-первых, для определенных видов растений характерны соответствующие концентрации элементов. В свое время даже предполагалась возможность классификации организмов в зависимости от их химического состава. Средние содержания одного и того же элемента в разных видах растений, произрастающих в одинаковых условиях,

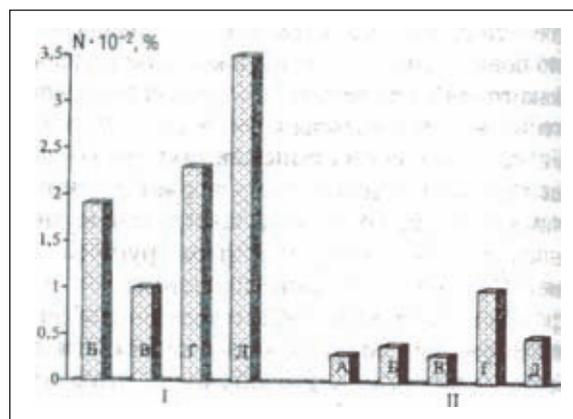
могут различаться в 2–5 раз (табл. 1), а иногда и в десятки раз. Эта особенность у растений сохраняется и даже усиливается в условиях катастрофического загрязнения почв – обычное их содержание превышает в десятки и сотни раз. Так, на аномальном участке в районе г. Каменска-Шахтинского, где резко повышена концентрация Zn в почвах и подземных водах, содержание этого металла составляет в золе листьев вяза  $6,8 \times 10^{-3}$ %, дуба  $17,3 \times 10^{-3}$ %, а тополя  $73 \times 10^{-3}$ %.

Особо следует отметить наличие организмов концентраторов и деконцентраторов определенных элементов (обычно тяжелых металлов). В первых данный элемент всегда (независимо от содержания в питательной среде или продуктах питания) находится в резко повышенных концентрациях, а во вторых – в пониженных.

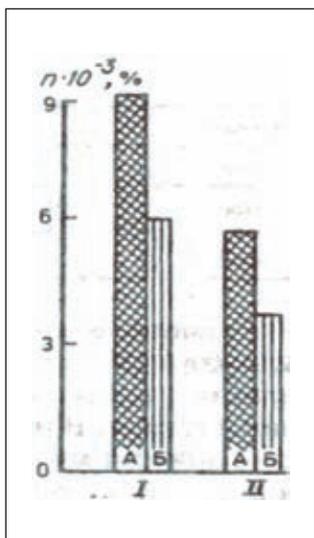
Таким образом, растения-концентраторы – типичные представители биогеохимических барьеров. В растениях деконцентраторах ряд химических элементов всегда на-



**Рис. 1.** Содержание Pb и Cu в различных частях сасыра (Каратау): 1 – листья; 2 – черенки листьев; 3 – плодоносящий побег; 4 – семена



**Рис. 2.** Содержание Pb в васильке в различные фенологические фазы развития (Каратау): I – над рудной зоной; II – над безрудным участком; фенофазы: А – зацветание; Б – цветение; В – отцветание; Г – образование семян; П – созревание семян



**Рис. 3.** Содержание Pb в степной вишне (Каратау): I – над рудной зоной; II – над безрудным участком; А – в многолетних побегах; Б – в однолетних побегах

ходится в пониженных содержаниях.

Необходимо отметить, что из-за этой особенности организмов концентратов и деконцентратов их нельзя использовать для проведения поисков месторождений полезных ископаемых биогеохимическими методами. Такие организмы при биогеохимических поисках должны выявляться еще в результате проведения опытных исследований (Алексеев В.А., 1989).

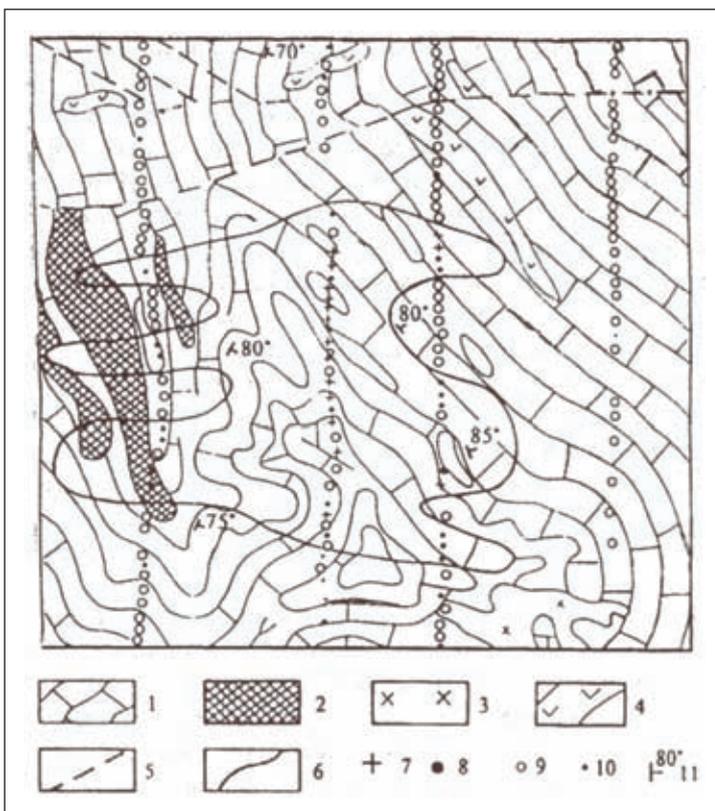
Во-вторых, концентрация большинства элементов различна в разных органах растительных организмов (рис. 1). Иногда в одном и том же животном организме она может изменяться в десятки раз. При этом следует отметить, что определенные компоненты органических тканей могут вызвать образование в живом организме даже минералов с очень высокой концентрацией целого ряда элементов.

Образование в живых организмах неорганических кристаллов обусловлено, по мнению ряда ученых, некоторыми типами молекул и характером их взаимного расположения в тканях. Для целлюлозы и пектинов характерно образование по стенкам клетки в растениях кальцита. Некоторые белки могут вызывать образование ядер минерализации карбонатов, кремнезема и даже магнетита.

В-третьих, в одном и том же органе живого организма концентрация химических элементов весьма существенно изменяется в зависимости от фазы его (организма) развития и возраста. Так, например, содержание свинца в васильке в зависимости от фазы развития изменяется в 3–4 раза (рис. 2). В старых березах содержание цинка в листьях в 1,5 раза, в ветвях в 2 раза, а в коре в 1,5 раза выше, чем в молодых. Даже в

одном многолетнем растении содержания химических элементов в старых и в однолетних побегах могут быть существенно отличными друг от друга (рис. 3). Однако при этом в обоих случаях в побегах над рудными зонами содержания прямых элементов-индикаторов будут значительно выше, чем за пределами этих зон.

В-четвертых, содержание в конкретных видах организмов ряда химических элементов во многом зависит от биологических закономерностей связи между ними в организмах (Алексеев В.А., 1969). Изменение концентрации в организме одного элемента вызывает изменение содержания другого. Говоря об этой закономерности, следует отметить, что к настоящему времени ее можно объяснить и биологической ролью этих элементов в организме, и особенностями строения ионов поглощаемых элементов (последнее относится к третьей группе факторов). Так, связь между содержанием Pb в Mo в растениях может объясняться биологическим значением этих элементов. При небольших (фоновых) поступлениях Pb в растение в последнем увеличивается и содержание Mo. Несколько упрощенно это можно объяснить так: молибден входит в состав многочисленной группы ферментов энергетического обмена клеток, а свинец ингибирует образование ферментов. Таким образом, можно считать, что положитель-



**Рис. 4.** Отрицательная биогеохимическая молибденовая аномалия над свинцово-цинковым месторождением Тельманским (Казakhstan); 1 – известняки; 2 – рудовмещающие доломиты; 3 – граниты; 4 – диабазовые профириты; 5 – разрывные нарушения; 6 – контур аномалий; 7–10 – места отбора проб и содержания, % в пробах молибдена (7 – меньше  $5 \times 10^{-4}$ , 8 –  $5 \times 10^{-4}$ , 9 –  $n \times 10^{-3}$ ,  $n \times 10^{-2}$ ); 11 – элементы залегания пород

**Таблица 2.** Фоновые содержания,  $n \times 10^{-3}\%$ , металлов в золе пылины над различными породами (Джунгарский Алатау)

Горные породы	Число проб	Pb	Zn	Cu	Mo
Сланцы рудовмещающей свиты	51	8	30	50	3
Диабазовые порфириды	24	1,4	14	9,6	1,3
Граниты	97	1,9	13	3,9	1,1
Эффузивно-туффовые породы	112	2	19	10	2

**Таблица 3.** Распределение Cr и Cu в золе баяльча из ландшафтов, отличающихся только по геоморфологическим особенностям (Центральный Казахстан)

Геоморфологическая структура	Элемент	Содержание, $n \times 10^{-3}\%$	
		фоновое	аномальное для единичных проб
Выровненная поверхность	Cr	0,002	0,006
Долинообразное понижение		0,001	0,0036
Склон плоскостного смыва	Cu	0,007	0,013
Выровненная поверхность		0,008	0,04

**Таблица 4.** Распределение ряда металлов в золе ковыля из ландшафтов, отличающихся только растительными ассоциациями и комплексами (Центральный Казахстан)

Ассоциация, комплекс	Элемент	Число проб	Содержание, %	
			фоновое	аномальное для единичных проб
Таволго-полынно-злаковая	Pb	235	0,005	0,023
	Mo		0,0002	0,0017
	Cu		0,01	0,093
	Ba		0,088	0,379
Кустарниково-злаковый	Pb	675	0,005	0,014
	Mo		0,0004	0,0027
	Cu		0,011	0,092
	Ba		0,085	0,184

ная корреляция содержаний этих металлов в растении является свидетельством нормальной жизнеспособности организма, отвечающего на токсичный свинец усиленным образованием ферментов.

Избыточное поступление свинца в растение (у различных видов пороговые значения разные) нарушает ранее существовавшие закономерные связи, развитие организма становится угнетенным, и количество молибдена, необходимого растению, уменьшается. При таком поступлении Pb начинает отчетливо проявляться отрицательная корреляция между содержаниями этого металла и Mo (К.М. Султанов, В.А. Алексеенко, 1970). Рассматриваемый процесс приводит к появлению отрицательных биогеохимических аномалий молибдена в растениях над полиметаллически-

ми месторождениями (рис. 4) и над участками с интенсивным техногенным загрязнением почв свинцом.

Как еще одну подобную биологическую связь можно рассматривать соотношение в растениях (изучались полынь и таволга) Ве и Вi, с одной стороны, и оксидов К, Na и Si – с другой. Незначительное по массе повышение концентрации Ве и Вi в почвах, а затем в растениях привело к резкому увеличению перечисленных оксидов в золе растений, а соответственно и к общему повышению зольности (рис. 5). При этом содержание в питающей среде К, Na, Si и их формы нахождения остались прежними (Алексеенко В.А. и др., 1976).

В других случаях связь между определенными элементами в организмах вероятнее всего обусловлена химическими (геохимическими) свойствами ионов этих элементов, что можно отнести и к третьей группе факторов. Еще исследования Херд Карер (1935) показали, что в изучаемой большой группе растений, несмотря на значительные различия в поглощении ими серы и селена, отношение поглощенной серы к селену остается практически неизменным у всех рассмотренных видов. Если же мы сравним основные показатели, характеризующие ионы этих элементов, то увидим, что они очень близки.

В-пятых, у многих организмов ярко выражен биологический барьер<sup>1</sup> накопления определенных химических элементов. Те из них, у которых он отсутствует, при резком повышении содержания химических элементов в питающей среде или в продуктах питания погибают. Детальному изучению этой особенности поглощения химических элементов растениями посвящены многочисленные работы А.Л. Ковалевского.

II. *Ландшафтно-геохимические факторы накопления химических элементов организмами.* Содержание химических элементов в одинаковых частях растения может существенно изменяться с изменением ландшафтно-геохимических условий их произрастания.

Рассматриваемое влияние наблюдается обычно в результате смены целого комплекса ландшафтно-геохимических условий. Однако специально проводимые исследования позволили установить, что практически все ландшафтно-геохимические особенности миграции химических элементов, учитываемые на всех уровнях классификации ландшафтов (В.А. Алексеенко, 1990), влияют на концентрацию элементов в растениях. При этом они иногда имеют противоположную направленность и тогда может отсутствовать суммарный эффект повышенного (или существенно пониженного) накопления элементов в

<sup>1</sup> Не следует путать с биогеохимическим барьером, который устанавливается при величине коэффициента биологического поглощения больше единицы.

растениях.

Кратко рассмотрим примеры влияния отдельных ландшафтно-геохимических факторов.

1. Изменение состава коренных горных пород приводит к смене ландшафтно-геохимической обстановки и, как правило, к изменению концентрации ряда элементов в растениях (табл. 2).

2. Важным показателем ландшафтно-геохимической обстановки является рельеф. В определенных условиях этот таксономический показатель оказывает весьма существенное влияние на поглощение ряда металлов растениями. Примером может служить детально изученный район в Центральном Казахстане (табл. 3). Одновременно с изменением фоновой концентрации Сг и Си в рассматриваемом случае произошло изменение дисперсии их содержаний в растениях. Особенно большим стал разброс концентрации Си в условиях выровненной поверхности, что сразу же сказалось на увеличении его аномального содержания при практически одинаковом фоновом (табл. 3). Число подобных примеров чрезвычайно велико.

3. В 1988 г. мною был введен новый уровень в классификации геохимических ландшафтов, учитывающий особенности воздушной миграции элементов. При прочих равных условиях в ландшафтах, подверженных воздушной эрозии, и в ландшафтах с отложением золотого материала почвы и растения отличаются содержанием целого ряда металлов.

Процессы техногенеза способствуют увеличению контрастности этих отличий. Так, в районе Новороссийска в растениях ландшафтов с отложением золотого материала техногенной природы в десятки раз повышается концентрация Рb, Zn и других тяжелых металлов.

4. Довольно часто в ландшафте происходят изменения, которые мы обычно не фиксируем непосредственно (например, изменения состава почвенных газов и температуры в определенных фазах развития организма, атмосферного давления и т.д.), но на которые чутко реагируют растения. В результате при прочих одинаковых ландшафтно-геохимических условиях изменяются растительные комплексы и ассоциации. И в этих случаях наблюдаются изменения концентрации ряда элементов и степени их разброса (дисперсии) в одном и том же виде растений (табл. 4).

III. Кристаллохимические факторы накопления химических элементов организмами. Долгое время в отечественной биогеохимии господствовало мнение, в соответствии с которым накопление элементов будто бы определялось степенью эволюции, в которой организмы

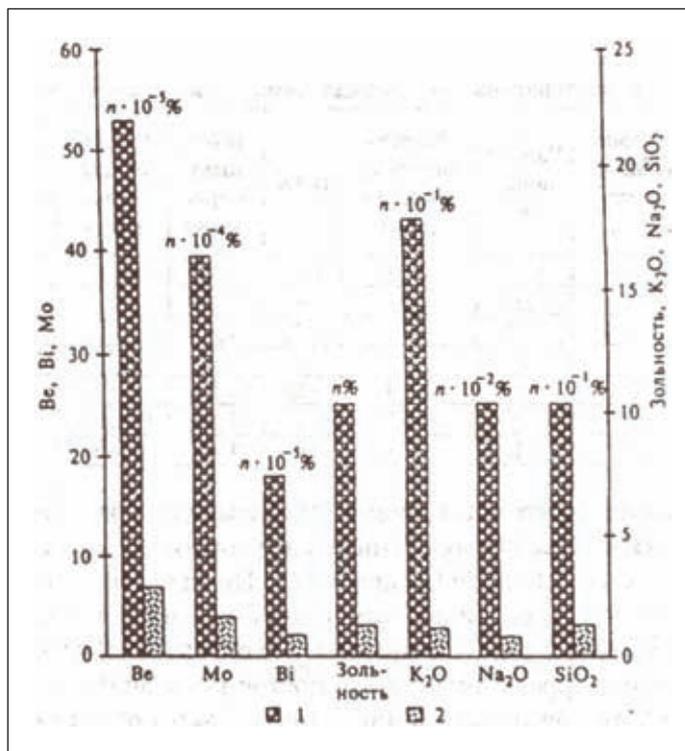


Рис. 5. Распределение Be, Mo, Bi и изменение зольности и содержания K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub> в золе таволги над рудной зоной (1) и за ее пределами (2)

постепенно освобождались от множества геохимических функций элементов и нуждались лишь в физиологических функциях отдельных элементов. В зарубежной литературе (Thyssen St, 1942) встречались отдельные предположения о связи физиологического поведения элементов с величиной ионов.

Для растений одним из основных показателей накопления элементов является коэффициент биологического поглощения (КБП). Он представляет собой отношение содержания определенного химического элемента в золе растений к содержанию этого же элемента в питающей среде.

Как видно из рис. 6, с увеличением энергетических коэффициентов химических элементов резко уменьшается их относительное биологическое накопление. Таким образом, можно считать, что установлена в общем виде связь между накоплением растительными организмами химических элементов и характеристиками ионов данных элементов. Это позволяет говорить о первостепенной роли ионов в питании растений, а также предполагать наличие ряда общих законов миграции химических элементов как в косной части биосферы, так и в живых организмах.

Анализ графика на рис. 6 дает возможность выделить три поля биологического накопления: 1) нормального (его составляет подавляющая часть всех химических элементов); 2) повышенного (P, As, V, Ge); 3) пониженного (Ti, Hg, F). Коэффициент корреляции между значениями ЭК и КБП у элементов, относящихся к полю нормального накопления, не только значим, но и довольно высок:  $r = -0,74$ . Появление второго и третьего полей накопления может

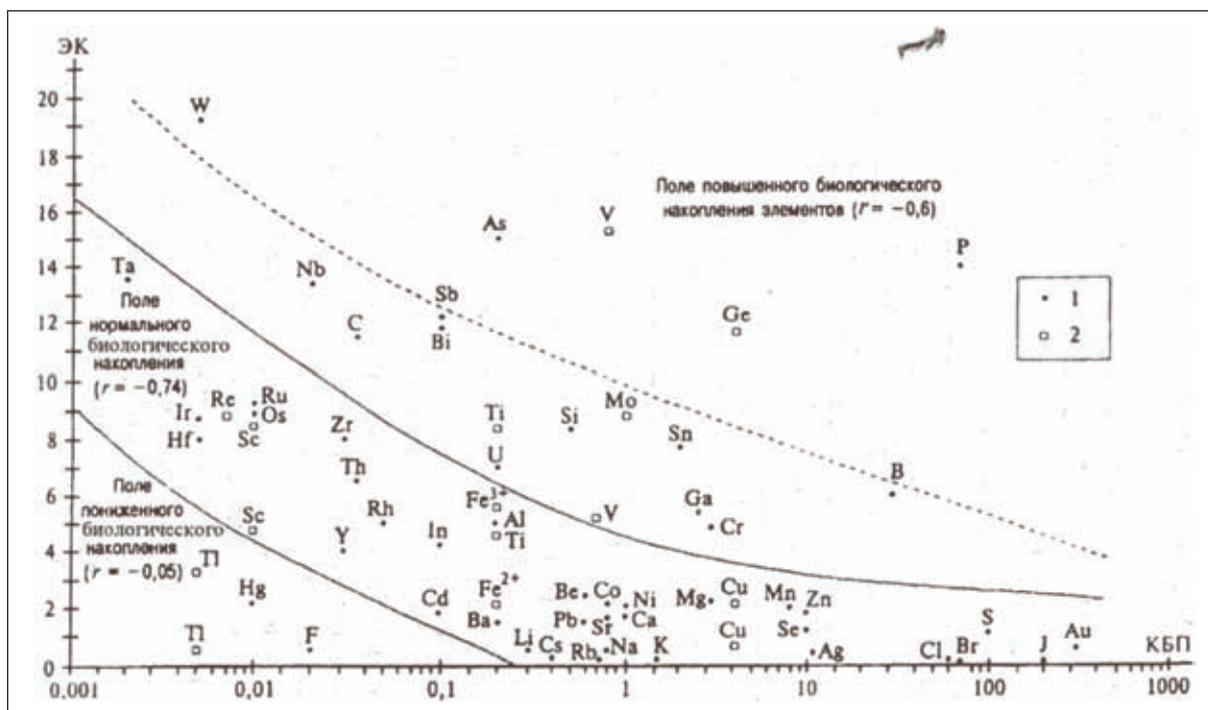


Рис. 6. Зависимость энергетических коэффициентов от коэффициентов биологического поглощения: 1 – ионы с постоянной валентностью; 2 – ионы с переменной валентностью

быть связано как с биологической ролью элементов, так и с более глобальными причинами, вплоть до особенностей возникновения жизни на Земле. В связи с этим требуется дальнейшее углубленное изучение особенностей накопления химических элементов живыми организмами (на биогеохимических барьерах) в зависимости от строения атомов и ионов этих элементов.

Все приведенные данные свидетельствуют о необходимости учета при проведении поисков биогеохимическим методом целого ряда факторов, влияющих на накопление растениями элементов-индикаторов. Однако в определенных условиях биогеохимический метод может быть не только эффективным, но и экономически наиболее выгодным поисковым методом.

## ПРОВЕДЕНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В.А. Алексеенко

НГМУ, г. Новороссийск, Россия  
ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия

### THE PECULIARITIES OF SEARCH OF MINERAL DEPOSITS WITH THE BIOGEOCHEMICAL METHOD ARE CONSIDERED

V.A. Alekseenko

Novorossiysk State Maritime University, Russia, [vl.al.alekseenko@gmail.com](mailto:vl.al.alekseenko@gmail.com), [\\_ecogeoхим@mail.ru](mailto:_ecogeoхим@mail.ru)

**Abstract.** The article deals with general aspects and procedures of the biogeochemical method of mineral exploration.

#### Биогеохимические поиски

##### 1. Условия применения

Применение биогеохимического метода поисков целесообразно в тех случаях, когда он обладает преимуществом перед более простым литохимическим методом поисков по вторичным ореолам рассеяния. Можно считать,

что биогеохимический метод является одним из наиболее эффективных методов в следующих ландшафтно-геохимических и климатических зонах:

- гумидной при замедленной денудации, если широкое развитие получили процессы выщелачивания элементов-индикаторов из элювиально-делювиальных отложений и кор выветривания;
- гумидной и умеренно влажной, если вторичные литохими-

- ческие ореолы перекрыты дальнеприносимыми отложениями мощностью до 40 м, а в отдельных случаях – до 80 м;
- аридной пустынь или полупустынь, если вторичные литохимические ореолы или непосредственно рудные зоны перекрыты дальнеприносимыми отложениями мощностью до 20–40 м;
- заболоченных равнин и торфяников при неглубоком (2–10 м) залегании потенциально рудовмещающих коренных пород;
- на участках, покрытых сплошным моховым покровом, где отбор литохимических проб затруднен и связан с большими затратами;
- на участках, покрытых растительным покровом, и со слепыми литохимическими ореолами рассеяния, верхняя граница которых находится на глубине не менее 1 м от дневной поверхности;
- на участках, перекрытых крупноглыбовыми курумными осыпями, поросшими деревьями и кустарниками;
- на болотах (при условии их промерзания и возможности зимнего отбора проб).

В зависимости от поставленной задачи биогеохимические исследования делятся на региональные (1:200 000–1:100 000), собственно поисковые (1:50 000–1:25 000) и детальные (1:10 000).

Региональные работы способствуют выяснению общей геохимической и биогеохимической характеристики районов; при их проведении возможно обнаружение биогеохимических ореолов части месторождений. Основным же заданием на этом этапе должно быть проведение опытно-методических исследований, обеспечивающих эффективное ведение поисков биогеохимическим методом на последующих этапах, а также выявление биогеохимических полей, соответствующих районам и узлам месторождений полезных ископаемых.

Собственно поисковые работы должны привести к обнаружению биогеохимических ореолов новых месторождений полезных ископаемых и установлению общих закономерностей их размещения. При проектировании глубинного геологического картирования с прогнозированием полезных ископаемых биогеохимические поиски должны предшествовать бурению, а их данные – учитываться для определения мест заложения скважин.

Детальные работы выполняются с целью выявления и оконтуривания биогеохимических ореолов месторождений, отдельных рудных зон и тел.

## 2. Районирование территорий по условиям эффективного ведения поисков месторождений

Проектированию проведения поисков биогеохимическим методом должно предшествовать районирование конкретной территории по условиям эффективного ведения работ. Результатом рассматриваемого районирования должно стать составление карт поисковых ландшафтов с указанием информативности различных геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых. По результатам такого районирования предложено отдельно выделять для всех поисковых ландшафтов следующие методы поисков месторождений полезных ископаемых: 1 – имеющие наибольшую поисковую информативность и

рекомендуемые как основные для всего поискового ландшафта; 2 – обладающие значительной информацией о геохимических особенностях коренных горных пород; 3 – методы, обладающие достаточной геохимической информацией лишь на отдельных участках поискового ландшафта. Кроме того, на картах целесообразно выделение площадей, рекомендуемых для выявления не месторождения, а вторичных полей рассеивания, соответствующих районам и узлам месторождений полезных ископаемых, каким-либо геохимическим методом (табл. 1).

## 3. Опытные работы

Опытные работы должны проводиться над рудными телами и безрудными участками и включать ботанические и биогеохимические исследования. При ботанических исследованиях определяют основные виды растений, произрастающих в данном районе, и составляют гербарий. Основными задачами, решаемыми с помощью биогеохимических опытных работ, являются следующие:

- определение влияния фенологических фаз развития и возраста отдельных частей растений на содержание элементов-индикаторов в наиболее распространенных растениях района;
- установление закономерностей распределения элементов-индикаторов по частям растений (если распространены растения с неравномерно развитыми органами);
- выявление особенностей связи между металлами в растениях;
- установление у основных растений района физиологических барьеров поглощения элементов-индикаторов;
- определение растений, наиболее пригодных для опробования (обычно достаточно 2–5 из наиболее распространенных);
- выявление комплекса элементов-индикаторов, определение содержаний которых необходимо проводить в пробах;
- установление морфологических и биохимических особенностей биогеохимических ореолов в зависимости от состава и размеров рудных тел и вторичных литохимических ореолов, а также от мощности рыхлых отложений, ландшафтно-геохимических условий;
- определение в конкретных ландшафтно-геохимических условиях глубинности метода при отборе в пробы основных растений;
- сопоставление результатов биогеохимических поисков с литохимическими;
- установление различий в распределении основных элементов-индикаторов в одних и тех же растениях (их частях), произрастающих в различных ландшафтно-геохимических условиях.

## 4. Отбор проб

Общие положения. Сеть пробоотбора при проведении биогеохимических исследований, ориентировка профилей и последовательность укрупнения масштаба работ должны соответствовать требованиям, предъявляемым к производству литохимических поисков по вторичным ореолам. Один вид растений должен опробоваться подряд не менее чем на пяти точках по профилю. При опробовании травянистых растений (соотношение между отдельными частями в которых всегда примерно одинаково) в пробу

**Таблица 1.** Информативность поисковых методов в конкретных ландшафтно-геохимических условиях поисковых ландшафтов Северного Кавказа

№ ландшафта	Краткая характеристика поискового ландшафта	Метод геохимических поисков							
		Глубинный вариант		Поверхностный вариант					
		Первичный литохимический	Вторичный литохимический	Первичный литохимический	Вторичный литохимический	Гидрогеохимический	Биогеохимический	На основе потока рассеяния	Шлиховой
1	Сельскохозяйственный с мощностью аллохтонных рыхлых образований свыше 5 м	++	+++		0				
1а	Рисовые чеки, периодически заливаемые водой	+++	+++		0				
1б	Виноградники	+++	+++		0				
2	Леса низкогогорья и равнинной области с мощностью рыхлых отложений около 5 м				0 +++	+	0 +++		
2а	Трансаккумулятивный с мощностью рыхлых отложений около 10 м				0	+	0 +++		
3	Леса низкогогорья и равнинной области с мощностью рыхлых отложений до 5 м и выходами на поверхность коренных пород в руслах рек и ручьев			+	0 +++	0 +	0 ++	++	+
4	Природный с мощностью перекрывающих рыхлых аллохтонных образований свыше 3 м				0	0 +	0 +++		
4а	Болота и пойменные луга						0 +++		

*Примечание:* +++ – методы поисков, имеющие наибольшую геохимическую информативность и в данных условиях рекомендуемые как основные методы геохимических поисков; ++ – методы поисков, обладающие значительной геохимической информацией (в конкретных условиях поисковых ландшафтов эти методы рекомендуются к широкому применению); + – методы, обладающие достаточной геохимической информацией только в определенных условиях и рекомендуемые к применению лишь на отдельных участках поискового ландшафта; 0 – метод, рекомендуемый для выявления вторичных полей рассеяния.

лучше брать всю надземную часть, кроме прикорневых листьев, загрязненных частичками почвы. При опробовании многолетних кустарников и деревьев в пробы всегда следует брать только одну и ту же часть растения (с кустарников и лиственных пород деревьев целесообразно отбирать в пробы листья, а с хвойных – прирост последнего года с хвоей).

Учет биологических барьеров при выборе растений для опробования. В настоящее время очень большое внимание при проведении биогеохимических поисков стало уделяться биологическим барьерам поглощения элементов, а соответственно – «барьерным» и «безбарьерным» растениям. Изучение анализов многих десятков тысяч биогеохимических проб показывает, что физиологический барьер накопления металлов, обычно являющихся индикаторами оруденения, начинает действовать после получения растением такой их порции, которая превышает аномальное содержание этих же элементов в растении для данного ландшафта. Однако в связи с этим следует еще раз под-

черкнуть, что для каждого растения необходимо определять фоновое и аномальное содержания в каждом геохимическом ландшафте.

Поступление повышенных содержаний каких-либо элементов в растения вызывает нарушение ранее существовавших связей между элементами в организме. В результате этого в растениях накапливается в аномальных концентрациях (повышенных или пониженных) ряд косвенных элементов-индикаторов. Так, над свинцовыми рудами выявлены «отрицательные» аномалии Cu и Mo; над ртутными, нефти и газа – «положительные» Pb, Zn, Ba, Cu, Mn, Ni (см. рис. 1, 2, 3). Следует отметить, что этот набор элементов меняется не только в зависимости от изменения прямых элементов-индикаторов, но также от смены опробуемых растений и изменения ландшафтно-геохимических условий. В целом же учет ландшафтно-геохимической обстановки при выделении аномалий, а также выделение аномалий не по одному, а по нескольким (10–12) элементам позволяет в подавляющем большинстве случаев

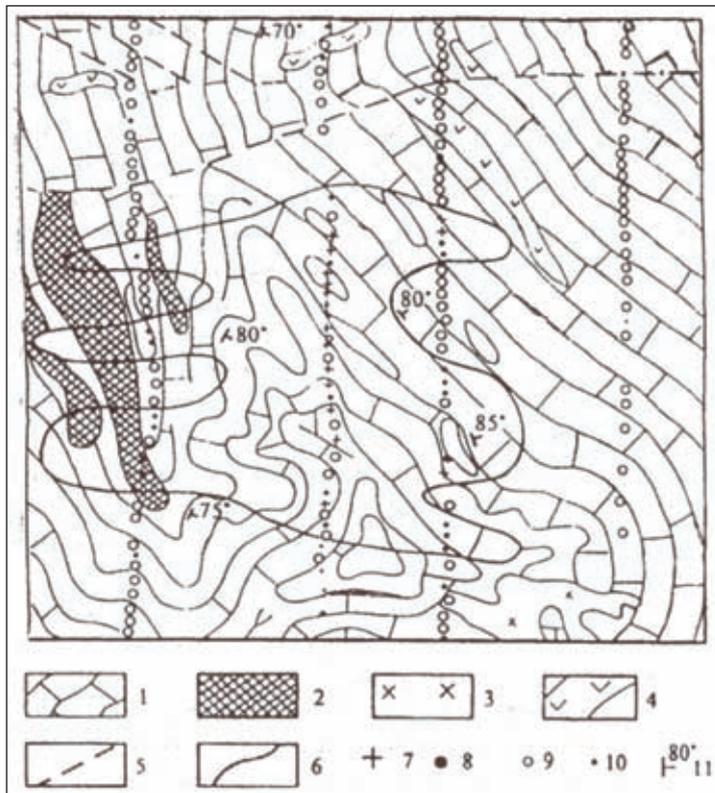
использовать для биогеохимических поисков практически все основные травы, кустарники и деревья.

Основные особенности отбора проб. При отборе проб необходимо уделять внимание ботаническим признакам, указывающим на возможное нахождение месторождений полезных ископаемых. Такими признаками могут быть: физиологические и морфологические изменения растений; появление локальных и универсальных растений-индикаторов; смена растительных ассоциаций, необъяснимая с точки зрения изменения экологических условий; существенные отклонения в ритме развития растений (раннее или позднее цветение, ранний или поздний опад листьев и т.п.); признаки угнетения или не объяснимое другими причинами отсутствие растительности (Алексеев В.А., 2011).

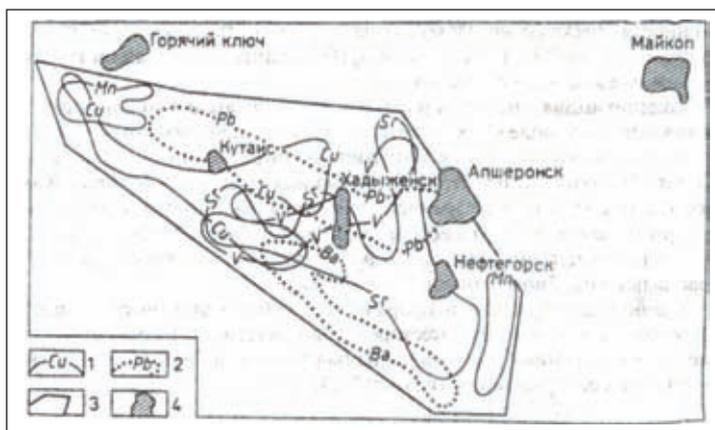
Биогеохимические пробы могут быть простыми (берется одно травянистое растение или его определенная часть только с одного дерева или куста) и составными. В последнем случае в пробу также отбирается один вид растений (или даже только определенная его часть), но с площади, занимающей до 10 м<sup>2</sup>. Отбор составных проб целесообразен при проведении региональных и среднemasштабных исследований.

Масса проб определяется после проведения опытных работ, однако можно считать, что она не превышает 20 г. Одновременно с отбором проб в стандартной полевой книжке производится их документация, которая в обязательном порядке включает следующие сведения: место отбора пробы, опробуемый вид и орган растения, его возраст, фенотип и народное название. Следует также указывать периоды дождей и их интенсивность (сильный, умеренный, слабый). Отбор проб должен сопровождаться составлением абриса.

Контрольное опробование проводится в объеме не менее 3% общего количества отобранных проб. Проводить контрольное опробование необходимо в ту же фенологическую фазу развития растения, в которую проводилось и основное опробование. Если это невозможно (ко времени выделения аномалий стадии развития растений изменились), контрольному опробованию подвергаются растения на аномальном и заведомо безрудном участке. Расчет фоновых и аномальных значений в этом случае осуществляют по результатам опробования на безрудном участке. Опробование при изменившейся стадии развития растений должно составлять незначительную часть контрольного опробования, которое запрещается проводить при изменившихся метеорологических условиях.



**Рис. 1.** Отрицательная биогеохимическая молибденовая аномалия над свинцово-цинковым месторождением Тельманским (Казахстан); 1 – известняки; 2 – рудовмещающие доломиты; 3 – граниты; 4 – диоритовые профириты; 5 – разрывные нарушения; 6 – контур аномалий; 7–10 – места отбора проб и содержания, %, в пробах молибдена (7 – меньше  $5 \times 10^{-4}$ , 8– $5 \times 10^{-4}$ , 9– $n \times 10^{-3}$ ,  $n \times 10^{-2}$ ); 11 – элементы залегания пород



**Рис. 2.** Биогеохимическое поле рассеяния месторождений нефти и газа: 1 – биогеохимические аномалии; 2 – зоны повышенных содержаний элементов; 3 – граница поля рассеяния; 4 – населенные пункты

### 5. Обработка проб

Отобранные биогеохимические пробы в полевых условиях сушатся и измельчаются. В случае сильного запыления пробы нужно промыть дождевой или чистой речной водой. Ввиду опасности «вымывания» элементов промы-

вание следует проводить как можно быстрее. Затем в лаборатории пробы подвергаются озолению в специальных печах, что уменьшает их загрязнение и увеличивает производительность труда. Озоляют в фарфоровых и металлических тиглях<sup>2</sup>. Полученную золу прокаливают в муфельных печах в течение 4–6 ч при температуре 500–600 °С. В таких условиях в пробах выгорают органические вещества. Лучше всего озоление и прокаливание проводить в специальных электрических печах, что позволяет строго выдерживать заданный режим. Прокаленная зола растирается и передается для проведения спектрального анализа.

При необходимости определения в биогеохимических пробах легколетучих элементов (Hg, As, Sb и др.) пробы растворяют в кислоте (предварительно проверенной на отсутствие определяемых в пробах элементов) и анализируют раствор.

Комплекс элементов, подлежащих обязательному определению при региональных биогеохимических исследованиях, аналогичен таковому в изучаемых литохимических пробах, отбираемых при поисках по вторичным ореолам соответствующего масштаба. Элементы, определяемые в биогеохимических пробах при средне- и крупномасштабных поисках, устанавливаются после проведения опытных работ.

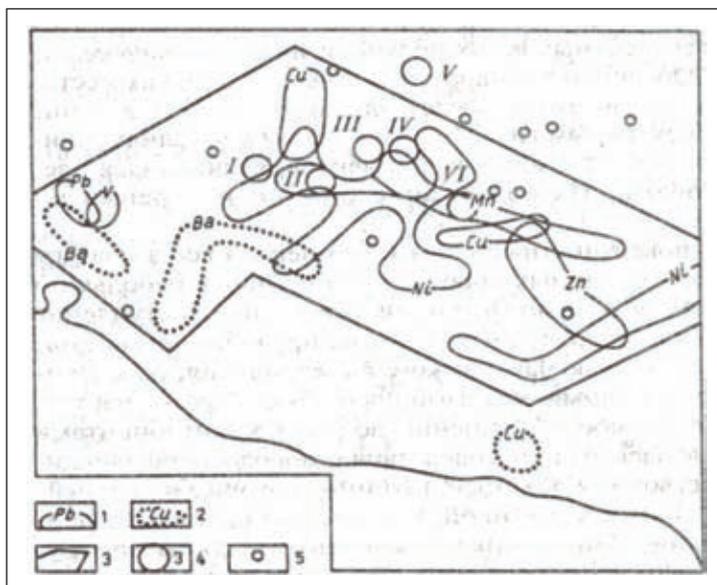
#### 6. Изображение результатов анализа и оценка аномалий

Составление выборок. Для повышения эффективности биогеохимического метода поисков была разработана и прошла многолетнюю успешную проверку методика выделения участков сопоставимых проб. Участки сопоставимых проб представляют собой площади, характеризующиеся одинаковыми ландшафтно-геохимическими условиями, на которых опробуются только определенные части растений, находящиеся в одинаковых фенологических фазах развития.

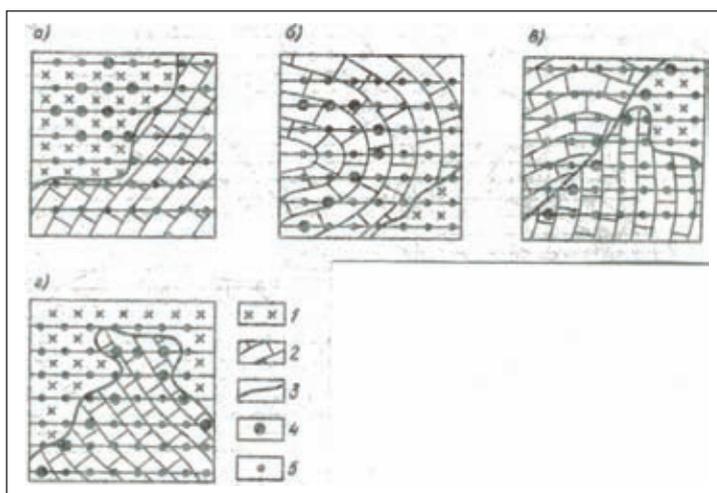
Для исключения влияния сроков опробования растений на содержание в них металлов в пределах всего района поисков следует выделить площади, в пределах которых отбор проб можно произвести в одну фенологическую фазу развития опробуемых растений (какая их часть берется в пробы, устанавливается заранее). Размеры таких площадей зависят в каждом конкретном случае от скорости смены фенологических фаз у опробуемых видов растений, от проходности участка и сезона пробоотбора.

В пределах выделенных площадей устанавливаются непосредственно участки сопоставимых проб. Практически выделение таких участков проводится при последователь-

<sup>2</sup> Предварительно устанавливают, что данные тигли не вызывают загрязнения проб.



**Рис. 3.** Биогеохимическое поле рассеяния группы ртутных месторождений: 1 – биогеохимические аномалии; 2 – зоны повышенной концентрации металлов в растениях; 3 – контур биогеохимического поля рассеяния; 4 – месторождения (I – Сахалинское; II – Дальнее; III – Каскадное; IV – Запорожское; V – Белокаменное; VI – Фанарское); 5 – проявления киновари и точки минерализации



**Рис. 4.** Возможные корреляции геохимических проб: 1 – гранит; 2 – известняк; 3 – разрывное нарушение; 4 – пробы с аномальным содержанием металла; 5 – проба с фоновым содержанием металла

ном наложении сделанных на кальке карт геохимических ландшафтов и смены фенофаз опробуемого растения (для каждого растения делают свои карты участков сопоставимых проб). Обычно в пределах площади, включающей до 10 000 точек отбора проб, выделяется от 30 до 70 различных участков сопоставимых проб.

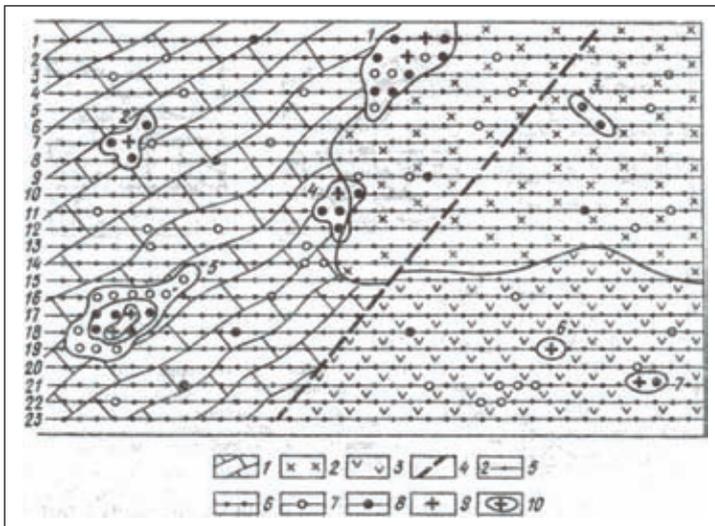
Выделение аномалий. В процессе математической обработки отдельно для каждого вида растений (их частей), произрастающих на определенных участках сопоставимых проб, устанавливаются аномальные содержания элементов в золе. Для выявления биогеохимических аномалий на

планшет особыми значками или цветом выносятся содержания, значительно меньшие фонового, аномальные для двух и девяти коррелирующихся проб, а также для единичных проб. Затем выделяют «отрицательные» и «положительные» аномалии для каждого элемента на отдельном планшете (рис. 4, 5). Потом составляется сводная карта аномалий с выделением на ней отдельных аномальных зон (рис. 2, 3).

Оценка аномалий. Перспективность каждой аномалии рассматривается в зависимости от особенностей геологического строения, распределения элементов-индикаторов и изменения корреляционных зависимостей между ними. Все аномалии должны быть осмотрены на местности для отбраковки заведомо не связанных с месторождениями полезных ископаемых и выяснения особенностей геологического строения аномальных участков.

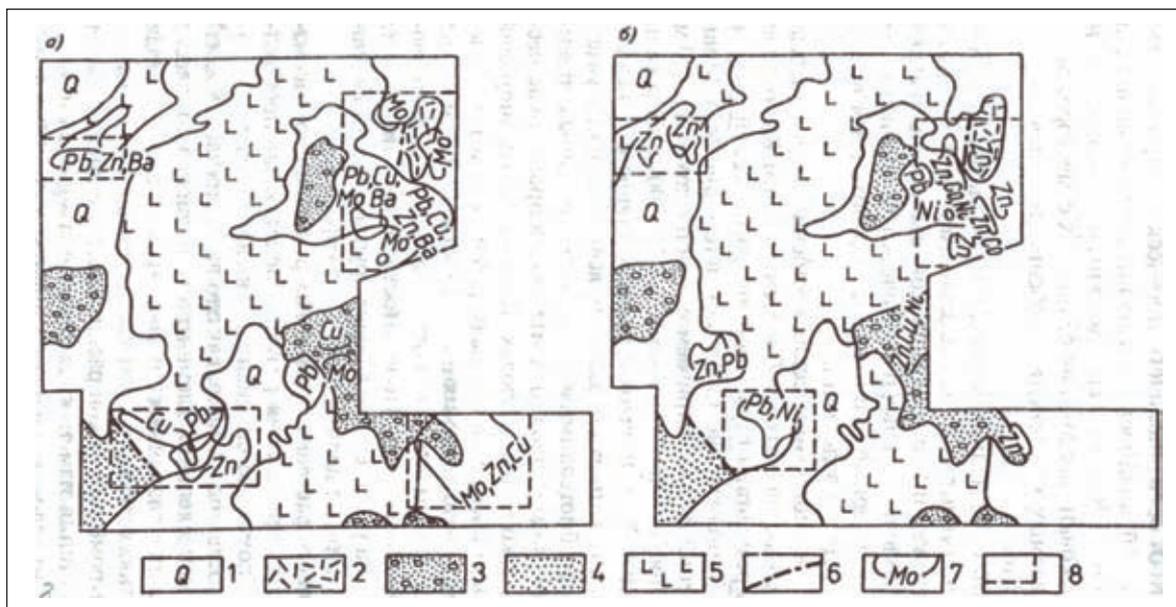
На перспективных аномалиях обязательно проведение проверочной глубинной или поверхностной (в зависимости от мощности перекрывающих отложений) литохимической съемки по рыхлым отложениям. После дополнительных геохимических и геофизических исследований задаются горные или буровые выработки для вскрытия рудных зон в коренном залегании.

Как пример оценки биогеохимических аномалий, выявленных по методике участков сопоставимых проб в Центральном Казахстане, можно рассмотреть результаты глубинной литохимической съемки, проведенной после биогеохимических поисков (см. рис. 6). Мощность рыхлых



**Рис. 5.** Схема выделения геохимических аномалий: 1 – известняки; 2 – граниты; 3 – эффузивные породы; 4 – разрывные нарушения; 5 – профиль отбора проб и его номер; 6 – точки отбора проб с содержанием ниже аномального; 7–9 аномальные содержания (7 – для девяти коррелирующихся проб; 8 – для двух коррелирующихся проб; 9 – для единичных проб); 10 – геохимическая аномалия и ее номер

отложений на рассматриваемом участке доходит до 20 м. Биогеохимические пробы отбирались по сетке 25 × 200 м, скважины бурились по сетке 40 × 200 м. В литохимические пробы брались коренные породы. Анализ данных показал, что все аномальные участки, обнаруженные при биогеохимической съемке, связаны с повышенными содержаниями металлов (от сотых долей процента до нескольких процентов) в коренных породах. Невыявленных аномалий при биогеохимической съемке на площади работ (40 км<sup>2</sup>)



**Рис. 6.** Карты аномалий: а – биогеохимических; б – глубинных литохимических; 1 – современные отложения, суглинки, супеси; 2 – эффузивные кислые породы нижнего и среднего девона; 3 – кварцитовидные песчаники, пески и галька палеогена; 4 – красноцветные песчаники, гравелиты нижнего силура; 5 – эффузивы основного состава, вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы нижнего и среднего кембрия; 6 – тектонические нарушения; 7 – геохимические аномалии; 8 – контуры аномальных участков

не было. Таким образом, вместо разбуривания по сетке всей площади можно было бы с тем же поисковым эффектом ограничиться проверкой био-геохимических аномальных зон. Поверхностные литохимические поиски, проводимые на участке даже в более крупном масштабе, положительных результатов не дали.

Проблема эталонного растения. Во многих руководствах рассматривается возможность приведения результатов анализов проб различных растений (с помощью специальных коэффициентов) к одному «эталонному» растению. Однако, как это видно из табл. 1, из-за разных законов распределения элементов и их дисперсий ввести один коэффициент для различных аномальных содержаний (для единичных проб, а также двух и девяти коррелирующихся) практически невозможно. Кроме того, закон распределения и дисперсия для одного и того же растения изменяются также с изменением ландшафтно-геохимических условий произрастания. Следовательно, если даже удастся в редком случае подобрать допустимый коэффициент, то он будет пригоден только для двух рассматриваемых ландшафтов. Если этот коэффициент использовать для всего участка работ, то не будут учитываться его ландшафтно-геохимические особенности.

#### 7. Особенности биогеохимических поисков месторождений нефти и газа

Естественно, биохимические поиски нефти и газа могут вестись только по косвенным элементам-индикаторам. Однако и в этом случае есть свои особенности. Даже если в нефти и газе присутствуют в виде незначительной примеси другие элементы, кроме Н, С, S, то их вынос на поверхность в количествах, способных накопиться в растениях в аномальных концентрациях, вряд ли возможен даже в редчайших случаях.

В то же время ряд продуктов гипергенного преобразования нефти (а обычно это  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , S, N, в воды также могут попадать низкомолекулярные обогащенные кислородом соединения и т.п.) достигает поверхности. Поступление в почвы этих продуктов вызывает на локальных участках изменения, хотя и незначительные, физико-химической обстановки и оказывает влияние на деятельность микроорганизмов. Все это приводит к образованию в почвах над залежами нефти и газа слабоконтрастных геохимических барьеров. Подвижные элементы, находившиеся в почвах, в этих условиях перераспределяются и в конечном результате приводят к образованию слабоконтрастных биогеохимических аномалий. Опыт многочисленных исследований на юге европейской части России показал, что их достоверное выявление возможно только с использованием ландшафтно-геохимической основы с вычислениями для каждого

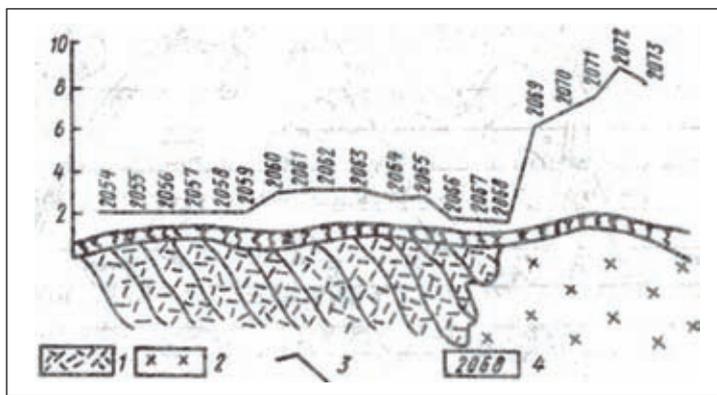


Рис. 7. Схема выделения геохимических аномалий: 1 – известняки; 2 – граниты; 3 – эффузивные породы; 4 – разрывные нарушения; 5 – профиль отбора проб и его номер; 6 – точки отбора проб с содержанием ниже аномального; 7–9 аномальные содержания (7 – для девяти коррелирующихся проб; 8 – для двух коррелирующихся проб; 9 – для единичных проб); 10 – геохимическая аномалия и ее номер

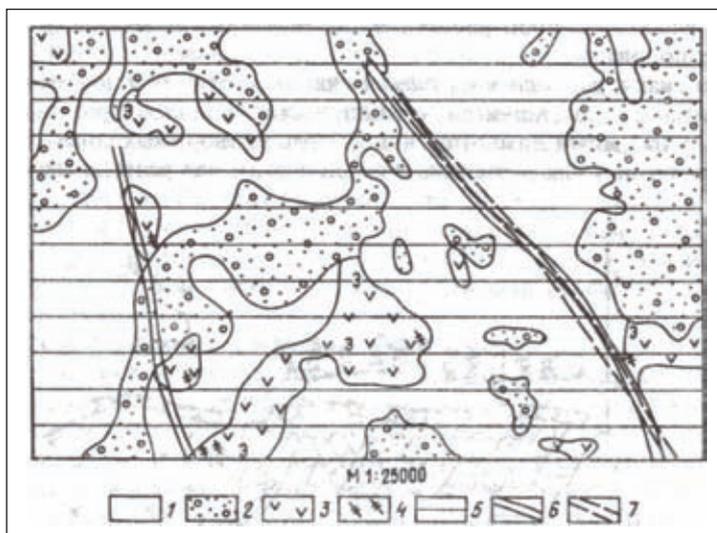


Рис. 8. Линейные биогеохимические аномалии над зонами расланцевания в Алкамергенской зоне (Центральный Казахстан): 1 – рыхлые отложения мощностью 5 м; 2 – палеогеновые песчаники и гравелиты; 3 – эффузивные породы; 4 – зоны расланцевания; 5 – профиль отбора проб; 6 – цинковые биогеохимические аномалии; 7 – молибденовые биогеохимические аномалии

ландшафта своих фоновых и аномальных величин содержаний элементов в растениях. Следует отметить, что ряд перекрывающихся друг друга биогеохимических аномалий обычно оконтуривает весь нефтегазоносный участок (рис. 2) и гораздо реже проектируется над отдельной залежью.

#### 8. Использование биогеохимических методов при составлении геологических карт

Изменение ландшафтно-геохимических условий произрастания растений сказывается на закономерностях связи между элементами. Следовательно, смена коренных пород, над которыми произрастают растения, должна вызвать изменение соотношений между металлами в золе растений. Использование изменений отношений

содержания определенных элементов в золе растений позволило четко определить границы между разными породами, перекрытыми рыхлыми отложениями (рис. 7) в различных ландшафтных условиях Джунгарского Алатау и Центрального Казахстана. Выбор растений для картирования и пары коррелирующихся элементов осуществляется путем сравнения отношения фонового содержания элементов в растениях, произрастающих на участках с известными коренными породами.

Так как к разрывным нарушениям часто приурочены

подземные воды зон разломов, значительное количество металлов в рыхлых отложениях над ними находится в виде водорастворимых солей, наиболее доступных для растений. В связи с этим над разрывными нарушениями и зонами расланцевания обычно выявляются контрастные биогеохимические линейные аномалии (рис. 8). Сдвиг аномалий по отношению к разломам не превышает 40 м даже при крутизне склона до 40° и мощности рыхлых отложений 20–30 м.

## ПОЧВЕННЫЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ КАК ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ

А.С. Бабенко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия, [andrey.babenko.56@mail.ru](mailto:andrey.babenko.56@mail.ru)

### SOIL INVERTEBRATES AS INDICATOR OF TERRITORY POLLUTION

A.S. Babenko

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, [andrey.babenko.56@mail.ru](mailto:andrey.babenko.56@mail.ru)

**Abstract.** *The possibilities of soil invertebrates as indicator of natural and disturbed territories have been studied. It was shown significant importance of soil meso- and macro-fauna (especially Carabidae and Staphylinidae beetles) as indicators of soil pollution by heavy metals.*

Под биологическими индикаторами принято понимать организмы, которые показывают изменения в окружающей среде своим присутствием или отсутствием, изменением внешнего вида, химического состава, поведения. При экологическом мониторинге загрязнений использование биологических индикаторов часто дает более ценную информацию, чем прямая оценка загрязнения приборами, так как биологические индикаторы реагируют сразу на весь комплекс загрязнений.

В ряду биоиндикаторов состояния наземных экосистем часто рекомендуется использовать различные группы беспозвоночных животных, преимущественно обитателей почвы и подстилки. Отмечено, что сообщества почвенных беспозвоночных реагируют на антропогенные воздействия более отчетливо и раньше, чем это можно обнаружить на основе химических анализов почвы. По всей видимости это объясняется тем, что подавляющая доля поступающих в окружающую среду экотоксикантов удерживается верхними слоями почвы из которой они вовлекаются в биогенный круговорот [3].

Принято выделять два типа биоиндикаторов: «индикаторы аккумуляции» или индикаторы химического состава среды и «индикаторы активного мониторинга» или организмы для наблюдения за текущим состоянием окружающей среды. Считается, что виды с широкой экологической амплитудой (эврибионты) мало пригодны для индикационных целей, в то время как стенобионты служат хорошими индикаторами определенных условий среды. Однако перспективными индикаторами могут быть виды как с узкой, так и с широкой толерантностью к антропогенным влияниям. При изменении условий в экосистеме могут исчезнуть

виды с узкой экологической амплитудой, а численность видов с широкой амплитудой может повышаться [2, 3].

Отдельные виды животных могут быть хорошими индикаторами физических, химических и биохимических свойств почв. Например, связь беспозвоночных с механическим составом определяется, во-первых, механическими особенностями почвы как субстрата и может быть диагностирована с помощью размеров, внешних и морфологических особенностей животных (мелкие формы характерны для более легких почв, блестящие покровы у обитателей легких почв и тусклые, матовые – у обитателей тяжелых, отсутствие выростов на головной капсуле личинок насекомых, обитающих в тяжелых почвах). Во-вторых, механический состав определяет аэрацию, особенности гидротермического режима почв.

Почвенные беспозвоночные являются чуткими индикаторами влажности почвы. Встречаемость тех или иных видов может быть показателем влажности или сухости местообитания. Однако, характеристики гидротермического режима по встречаемости тех или иных видов имеют относительный, географически обусловленный характер и популяции одного вида в разных частях широкого ареала характеризуются часто разным диапазоном требований в отношении гидротермических условий (согласно правилу смены стадий). Также представители почвенной фауны могут быть индикаторами солевого режима почв. Например, в солончаках наблюдается специфический состав беспозвоночных-галофилов (стафилиниды рода *Bledius*, чернотелки), которые, как и растения галофиты, могут быть индикаторами процессов засоления. Некоторые беспозвоночные, являющиеся в большей или меньшей степе-

ни калькофилами (моллюски, диплоподы, мокрицы), могут быть индикаторами богатства почвы кальцием.

Не все группы почвенных беспозвоночных равнозначны как индикаторы. В частности, из числа индикаторов приходится исключить многих представителей микрофауны, отличающихся космополитизмом. Из простейших основной группой для целей биоиндикации служат раковинные амебы (тестации), так как они относительно легко определяются по строению раковин, которые хорошо сохраняются в почве. Характерной особенностью тестаций является наличие у многих видов экологических предпочтений по отношению к среде обитания. В результате, все разнообразие форм раковин группируется в несколько эколого-морфологических типов раковин. Каждый из экоморфотипов соответствует определенному местообитанию от водной среды болот до минеральных почвенных горизонтов.

Достаточно сложно использовать в качестве индикаторов почвенных микроартропод (клещи, коллемболы), так как они достаточно трудны для идентификации, а также могут быть связаны с определенными видами растений. Однако, набор видов и соотношение численности основных групп микроартропод (клещей и коллембол) характерны для каждого типа почв и резкие изменения в окружающей среде приводят к достаточно быстрой реакции комплекса микроартропод, поэтому эти педобионты удобны при индикационных работах на уровне комплекса видов. К числу преимуществ микроартропод относится то, что они часто являются единственными представителями животных организмов в сильно измененных экосистемах (агроценозах, отвалах промышленных предприятий, свалках и т.п.), что позволяет рекомендовать их для индикации нарушенных территорий.

Наиболее удобны для биоиндикационных работ крупные почвенные животные (представители мезо- и макрофауны). Как правило, среди них достаточно много истинных педобионтов, что обуславливает тесную и ярко выраженную связь этих животных с изменениями, происходящими в почве. Важно, что среди представителей мезофауны много видов-полифагов, т.е. мало связанных с определенным типом пищи. Наиболее удобны в качестве индикаторов дождевые черви, щелкуны и их личинки, крупные хищные насекомые (жужелицы и стафилиниды), некоторые виды мокриц и диплопод, в аридных зонах – тараканы, чернотелки и их личинки. В целом, выбор определенной группы или вида беспозвоночных в качестве индикатора почвенных условий должен основываться на его доминировании в естественных (или эталонных) местообитаниях.

В исследованиях, проведенных на юге Сибири отмечено, что почвенные и напочвенные коротконадкрылые жуки (стафилиниды) и жужелицы относятся к числу наиболее удобных для целей биоиндикации наземных организмов. В частности, они отвечают всем основным требованиям, предъявляемым к организмам – индикаторам промышленных загрязнений. К числу этих требований относятся: достаточная многочисленность в сравниваемых экосистемах, доступность в большом спектре местообитаний на протяжении года, быстрое чередование поколений, способность накапливать загрязняющие вещества, способность лег-

ко содержаться в культуре в лабораторных условиях. Хищные стафилиниды и жужелицы удобны как индикаторная группа еще и потому, что они занимают высокое положение в пищевых сетях наземных сообществ [2].

Исследование возможностей стафилинид и жужелиц накапливать в теле различные микроэлементы и абиогены проводилось на территориях с высоким уровнем промышленной антропогенной нагрузки: в районе Северного промышленного узла (СПУ) г. Томска и на южной окраине города с высоким уровнем промышленного воздействия (район Радиотехнического завода). Для сравнительного анализа содержания элементов был выбран ряд массовых видов стафилинид и жужелиц, встречающихся на всех сравниваемых территориях (*Philonthus decorus Grav.*, *Philonthus rotundicollis Men.*, *Tachinus rufipes DeGeer*, *Drusilla canaliculata F.*, *Poecilus cupreus Grav.*, *Pterostichus oblongopunctatus F.*).

С помощью нейтронно-активационного анализа состава тела жуков, выявлен уровень накопления следующих элементов: K, Na, Ca, Zn, Br, Sc, Cr, Fe, As, Co, Se, Rb, Hg, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th. Для таких элементов, как Ag, Sb и U во всех пробах содержание элементов было меньше предела определения данным методом. Часть из вышеперечисленных тяжелых металлов и редкоземельных элементов являются хемотоксичными (Cr, Zn, As, Se, Ba, Hg) и радиотоксичными (Sr, Cs, Th). Поэтому основное внимание при дальнейшем анализе уделено возможностям жужелиц и стафилинид накапливать эти элементы.

В ходе исследований было показано, что лучшим аккумулятором большинства загрязнений служит *Philonthus decorus Grav.*; уровень накопления таких элементов, как Sc, Cr, Fe, Rb, Cs, Ce, Eu, La, Yb и Hf вблизи очистных ТНХК является максимальным среди всех обследованных территорий северной промышленной зоны. Сравнительно меньшими аккумулятивными возможностями обладает *T.rufipes DeGeer*; так, у очистных сооружений жуки этого вида накапливали большинство элементов в 2–4 раза меньше, по сравнению с *P.decorus*, а следов Rb, Cs, Eu и Yb в стафилинах этого вида не обнаружено. Непосредственно у производственных корпусов ТНХК в теле стафилинид отмечено повышенное содержание селена и ртути (*P.decorus*). Другие стафилиниды (*Protundicollis*, *T.rufipes*) аккумулируют эти элементы в незначительном количестве. Максимальное содержание ртути и кобальта в теле жуков из всех исследованных образцов отмечено вблизи г. Асино, в 90 км к северо-востоку от Томска. В данной точке аккумуляционные возможности *T.rufipes* и *P.decorus* приблизительно одинаковы.

В южных пригородах Томска наибольший уровень накопления тяжелых элементов в теле жуков отмечается около одного из крупнейших предприятий города – радиотехнического завода (РТЗ). В частности, концентрация бария в теле *P.decorus* почти в 25 раз превышает аналогичные показатели для других территорий. Жуки этого вида в значительной степени аккумулируют около РТЗ также La и Co, а содержание Se в теле *P.decorus* также заметно выше, чем у других стафилинид. Эта тенденция прослеживается на

большинстве обследованных участков. [1, 6].

Сравнительный анализ аккумулятивных возможностей различных групп животных на обследованной территории показал, что стафилиниды являются наиболее удобным объектом для отслеживания распространения по территории ряда редкоземельных элементов (Th, Hf, Yb, Eu, Rb), которые практически не улавливаются другими биоиндикаторами (амфибии, мышевидные грызуны).

Высокая индикационная ценность показана для хищных герпетобионтов как индикаторов промышленных загрязнений в ряде других регионов России. Так, в лесных экосистемах по мере приближения к Косогорскому металлургическому комбинату (Тульская обл.) наблюдалось снижение численности и видового разнообразия жуужелиц; возрастал уровень флуктуирующей асимметрии надкрылий модельного вида *Pterostichus oblongopunctatus*; присутствовали виды-индикаторы антропогенной нарушенности биоценозов (*Carabus nemoralis*). Ответы популяций жуужелиц не зависели от содержания в них тяжелых металлов. Плотность популяций почвенной мезофауны и общая

трофическая активность почвенной биоты на загрязненной территории достоверно не отличались от фоновых участков. Реакция популяций геобионтов на воздействие комбинации определялась не валовой величиной концентрации тяжелых металлов в почве, а содержанием их подвижных форм, которое максимально на удалении ок. 2–5 км от комбината.

Возможным объяснением несоответствию реакций геобионтов и герпетобионтов на воздействие загрязнения являются экологические механизмы воздействия тяжелых металлов на них: геобионты подвержены прямому влиянию токсикантов в почве, а на герпетобионтов влияет изменение структуры ценоза. Пространственное распределение почвенных животных и дерново-подзолистой почве на уровне «исследуемой точки» на незагрязненных территориях в окрестностях Боровской станции МГУ в Калужской обл. показывает высокую вариабельность как плотности популяций, так и их биоразнообразия, которая на этом масштабе исследований не коррелирует с изменчивостью физико-химических параметров почвы [4, 5].

### Литература

1. Бабенко А.С. Использование стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) как индикаторов химического загрязнения среды на техногенных территориях // Экология и рациональное природопользование на рубеже веков. Итоги и перспективы. Матер. Междунар. Конф. – Томск, 2000. – Т. II. – С. 16–18.
2. Богач Я. Жуки-стафилиниды (Coleoptera, Staphylinidae) как биоиндикаторы экологического равновесия в ландшафте и влияния человека на примере города Праги // Биоиндикация в городах и пригородных зонах. – М.: Наука, 1993. – С. 36–42.
3. Бутовский Р.О. Экоотоксикология почвенных беспозвоночных животных. Тула. Изд-во Тульского пед. ун-та 2009. – 80 с.
4. Гонгальский К.Б. Почвенные беспозвоночные как биоиндикаторы промышленного воздействия в лесных экосистемах Центра Европейской России: Дис. ... канд. биол. наук. – М., 2004. – 160 с.
5. Гонгальский К.Б. Различия реакции герпетобионтов и геобионтов на воздействие Косогорского металлургического комбината (Тульская обл.) / К.Б. Гонгальский, Ж.В. Филимонова, А.Д. Покаржевский, Р.О. Бутовский // Экология, 2007. – №1. – С. 55–60.
6. Babenko A. Bioaccumulation possibilities of the rove beetles (Coleoptera, Staphylinidae) in the urban environment in Siberia // 1<sup>st</sup> Russian SETAC Symp. Risk Assessment Environ. Contamination. Abstr. – St.-Petersburg, 1998. – P.48.

## О НЕКОТОРЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ В ИЗМЕНЕНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

Н.В. Барановская

Томский политехнический университет, Томск, Россия, [nata@tpu.ru](mailto:nata@tpu.ru)

### ON SOME TENDENCIES IN CHANGES OF LIVING MATTER CHEMICAL COMPOSITION

N.V. Baranovskaya

Tomsk Polytechnic University, Russia, [nata@tpu.ru](mailto:nata@tpu.ru)

**Abstract.** The article discusses the history of idea development in living matter geochemistry, contribution of leading scientists in its evolution. The data on biosphere evolution under the condition of technogenesis are presented. The materials revealing local problems in element concentrations in animal and human tissues and organs.

История развития представлений о геохимии биосферы тесно связана с именем Владимира Ивановича Вернадского, создавшего учение о биосфере и впервые поднявшего вопрос о необходимости специального изучения функций живого вещества, игравшего колоссальную роль в перераспределении химических элементов в различных средах, с которыми оно соприкасается. Идеи изучения де-

ятельности живых организмов с геологической точки зрения зародились у В.И. Вернадского еще в студенческие годы, когда он участвовал в полевых экспедициях своего учителя – почвоведом В.В. Докучаева. Затем они получили развитие в годы пребывания на Украине (1916–1920) и во Франции (1922–1926). А начиная с 1921 года, Владимир Иванович организует систематические исследования по

биогеохимии [24–30]. Работы, касающиеся этого вопроса, были продолжены его учениками А.П. Виноградовым, В.В. Ковальским и др. К этому времени, согласно данным архива А.П. Виноградова в лаборатории БИОГЕЛ ГЕОХИ РАН, в ряде стран начинают развиваться исследования содержания химических элементов в живых организмах. Так, уже к началу 20 века работами итальянских и немецких ученых выявлены относительные количества содержаний некоторых редкоземельных элементов (по данным архива БИОГЕЛ), брома (по данным архива БИОГЕЛ) и других. Однако, они еще не носят систематического характера. Фундаментальные исследования роли живых организмов в концентрировании химических элементов представлены в книге В.И. Вернадского «Биосфера» [26], одной из самых известных публикаций великого русского ученого, переведенная практически на все основные языки Мира.

В логически законченном учении о биосфере, как геосферной оболочке, занятой жизнью, В.И. Вернадский уделяет огромное внимание геохимическим процессам, происходящим с участием живого вещества (ЖВ). «Живая материя является совершенно особой химической областью в химии земной коры... В живой материи, в каждой ее клетке ... идёт вихорь сменяющих друг друга химических элементов», писал В.И. Вернадский [30, с. 168].

Его работы продолжены в исследованиях А.П. Виноградова [31–33]. Так, его труд по геохимии живого вещества является фундаментальным и до сих пор остается актуальным при анализе уровней содержания определенного спектра химических элементов [31]. А в монографии «Химический элементарный состав организмов моря» впервые был высказан ряд идей о закономерностях, которые способствовали утверждению биогеохимии как науки и так же остаются актуальными [32]. Эти исследования проводились в первой в мире Биогеохимической лаборатории, которая возникла в 1928 г из небольшого Отдела живого вещества при Комиссии по изучению естественных производительных сил России, созданном В.И. Вернадским в 1926 году, и которая успешно функционирует по сей день (зав. лабораторией – проф., д.б.н. Ермаков В.В.) Именно с этого времени начинается история организации первых в мире систематических, фундаментальных исследований по изучению живого вещества. Теоретические основы, получившие первоначальное развитие в рамках Биогеохимической лаборатории, вылились в дальнейшем в мощные научные направления и школы. Так, в рамках лаборатории проводились исследования по урановой тематике, изучались вопросы геохимии изотопов химических элементов, проводились микробиологические исследования, изучались вопросы методологии проведения аналитических исследований для малых содержаний элементов и ряд других. Последнему вопросу уделялось немало внимания всеми учеными, поскольку содержание большого количества химических элементов в живом веществе характеризуется малыми значениями. Именно с этим связаны значительные проблемы в изучении химического элементного состава живого вещества. И с развитием аналитических методов мы все больше продвигаемся в познании закономерностей формирования элементного состава всего

живого. В.И. Вернадский в одном из своих писем писал: «Те новые химические по существу своему дисциплины, которые окончательно выявились в 20 веке, как геохимия и биогеохимия, основаны на аналитической химии – области знания огромного практического и научного значения» (В.И. Вернадский, по [34], с. 85). Именно благодаря тому, что лаборатория «БИОГЕЛ» являлась мощным центром по химии живого вещества, стало возможным развитие знаний в области геохимии живого вещества и уже в тот период вскрыть некоторые закономерности, связанные с формированием элементного состава и эволюцией видов. В 1930-х годах А.П. Виноградов выдвигает идею о биогеохимических провинциях [33], что позволило в дальнейшем перейти к практическим решениям по профилактике зубной эндемии, урвской болезни и ряда других патологий животных и человека.

За рубежом в этот период работы по изучению накопления элементов в органах и тканях животных и человека активно проводят немецкие и другие ученые [106, 101, 109, 90].

С конца 30-х годов к изучению проблемы о физиологической роли микроэлементов в жизни животных и человека активно подключается В.В. Ковальский, который вслед за В.И. Вернадским и А.П. Виноградовым становится директором Биогеохимической лаборатории (с 1954 г.) [34]. Именно в стенах этой лаборатории возникли и были реализованы идеи о гомеостазе живых организмов с геохимическим составом природной среды [53] и была составлена биогеохимическая карта Советского Союза, на которой показаны биогеохимические провинции с избытком и недостатком тех или иных элементов. На основе этой карты, исходя из уже известных данных, можно было прогнозировать те или иные виды заболеваний.

С 1945 года в Биогеохимической лаборатории под руководством А.П. Виноградова постоянно проходят совещания, на которых обсуждаются различные проблемы микроэлементов в живом веществе. В 1950 г. на базе ГЕОХИ им. В.И. Вернадского АН СССР и Всемирного института животноводства под эгидой Отделений химических и биологических наук АН СССР и Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина прошла первая Всесоюзная конференция по микроэлементам.

К 50-м годам прошлого столетия обозначились основные направления исследований в области микроэлементов и их роли в разных областях биологии и медицины. Результаты этих работ являются фундаментальными и, на сегодняшний день представляют собой основу для проведения функционально – диагностических исследований и лечебно – профилактических мероприятий животных и человека [54–56]. Одновременно в лаборатории осуществляется разработка биогеохимического метода поиска рудных месторождений [63], изучается химический состав ископаемого органического вещества организмов древних эпох [64] и ряд других направлений [56].

Научные работы школ Я.В. Пейве, В.В. Ковальского, П.А. Власюка, Ф.Я. Беренштейна способствовали тому, что микроэлементы стали широко применяться в растениеводстве, зоотехнике и ветеринарии, а также в медицине. Пя-

тидесятые – шестидесятые годы 20 столетия стали временем «расцвета» исследований о содержании элементов в составе живого вещества. Проходили конференции, совещания по этой тематике в разных городах и странах (Баку, 1958; Рига, 1959; Киев, 1965; Улан-Удэ, декабрь, 1960; Красноярск, ноябрь–декабрь, 1964; Омск, июль, 1969; и др.). Особенно многочисленными были исследования по изучению состава растений разных видов, вопросов миграции элементов из почвы в растения, роли химических элементов в функционировании живого организма, изучению особенностей концентрирования элементов разными органами и тканями в норме и патологии [6, 90, 9].

Под руководством В.В. Ковальского в Биогеохимической лаборатории разворачиваются широкомасштабные работы по определению роли микроэлементов в живом организме, развиваются новые биогеохимические направления – геохимическая экология и учение о биогеохимическом районировании биосферы. Это создало предпосылки для создания уже в 80-х годах учения о микроэлементах (МТОЗы) человека, которые в 1983 году были обобщены и классифицированы [2–3]. Благодаря развитию учения о биогеохимических провинциях и работам многочисленных ученых в направлении исследования элементного состава живых организмов стало возможным развитие профилактических мероприятий для предотвращения заболеваний населения.

Аналогичные работы выполнялись и выполняются за рубежом (Italy, January, 1993; Greece, October, 1997; France, May, 1999; Sweden, September, 2000; Germany, Arbeitstagung, 1996–2002; at all). В последние годы их систематически проводил профессор М. Анке («Mengen ...», 1999, 2000, 2001) в Германии, София и Серж Эрмидот-Полет в Греции (2005, 2007, 2009), профессор М.С. Панин в Казахстане (г. Семипалатинск, 2002–2009).

Сегодня о составе живого вещества имеется информация во всех геохимических справочниках и энциклопедиях. Наиболее полными оригинальными сводками по этому вопросу являются обобщения [21, 105, 31, 53, 42, 52, 51, 49–50, 45, 88, 85, 37–38, 91], а так же А.П. Авцын [2–3], А.С. Фортескую [91], Дж. Эмсли [96] и ряда других исследователей, в т.ч. по отдельным видам, органам и тканям (кровь, волосы и т.д.) [108, 110, 100, 112], сборники работ комиссий [92].

Характерной чертой исследований нашего времени является междисциплинарность подхода к тематике исследований содержания, распределения, роли химических элементов в живом веществе. Имеет место тенденция синтеза знаний, накопленных в разных научных направлениях. Так, на семинаре по геохимии окружающей среды в Швеции (2000) активно обсуждалась проблема становления новой дисциплины, под названием «Медицинская геология», необходимость создания которой вытекает из той огромной роли, которую играет окружающая среда при формировании химического состава живых организмов и возникновении патологических состояний человека. В рамках этой новой научной дисциплины реализованы исследования разных территорий на предмет влияния геологических факторов на состояние здоровья человека [113, 107].

Изучение результатов воздействия на живые организмы проводится на стыке различных научных и отраслевых направлений изучения окружающей среды. Поэтому именно здесь необходимо взаимопонимание между специалистами различного профиля и увязка различных понятийных баз [95, 84, 1].

Важность междисциплинарного подхода к изучению проблемы взаимодействия системы живой организм – окружающая среда заключается еще и в том, что с развитием человеческого общества возрастает степень антропогенной нагрузки. При этом масштабы неблагоприятного воздействия токсических выбросов и отходов промышленного производства на окружающую среду и их длительное накопление достигли таких критических значений, что речь может идти о «хронической биогеопланетарной патологии» [36, стр. 13]. Наряду с биогеохимическими эндемиями природного происхождения становится возможным возникновение эндемических болезней, являющихся реакцией на аномальный состав природной среды, измененной техногенной деятельностью человека [76, 86, 43, 94]. 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 [87].

В окружающей среде появляются химические элементы, ранее отсутствовавшие (Pu, Am и др.), увеличивается концентрация и степень рассеянности элементов. В связи с изучением степени воздействия человека на природную среду, было установлено, что на особенности развития живого организма и его химический состав интенсивно влияют процессы антропогенного (техногенного) характера, в том числе радиоактивные и химические компоненты [84, 77, 78, 79, 80, 81, 82]. Антропогенное загрязнение по определению В.С. Безеля [19] – вызванная деятельностью человека неблагоприятная модификация естественной природной среды, имеющая своим следствием изменение сложившихся потоков вещества, энергии, радиационного фона и проявляющаяся в изменении состояния биоты. По мнению авторов книги «Экогеохимия Западной Сибири» эти изменения грозят не только необратимыми преобразованиями главных компонентов жизнеподдерживающих систем и даже полным их разрушением, но и порождением новых, неизвестных доселе процессов, враждебных современным биологическим сообществам [93]. В современных условиях, характеризующихся значительным антропогенным давлением, необходимо приложить все усилия для сохранения жизни на Земле. Для этого необходимо вести количественную оценку имеющегося геохимического фона и его изменения, установить закономерности воздействия компонентов среды на биоту, выявить фоновые показатели, при которых возможны адаптационные процессы в организме и надорганизменных системах, установить индикаторы неблагополучия природной среды для функционирования живых организмов, в том числе человека.

Масштабы изменения геохимического состава биосферы колоссальны. Они обусловлены множеством факторов, в том числе нарастающей интенсивностью извлечения

**Таблица 1.** Глобальная эмиссия химических элементов (тыс. т/год) [41]

Химический элемент	Природная эмиссия		Техногенная эмиссия	
	Расуна (1992)	Mukherjee (2001)	Расуна (1992)	Mukherjee (2001)
Cd	0,96	0,1–3,9	7,6	5,6–37,7
Co	5,4	0,6–11,4	–	–
Cr	53,9	4,5–83	30,5	585–1 310
Cu	18,9	2,2–53,8	35,4	542–1 403
Hg	0,16	0–4,9	3,6	1,6–15
Mn	516	51,5–582	38,3	706–2 633
Ni	26	2,9–56,8	55,7	93,3–494
Pb	18,6	0,9–23,5	332	479–1 039
Zn	45,5	4–86	132	689–1 954
V	66,1	(70)*	86 (90)*	21,4–138
As	7,8	1,1–23,5	18,8	52,4–111,6

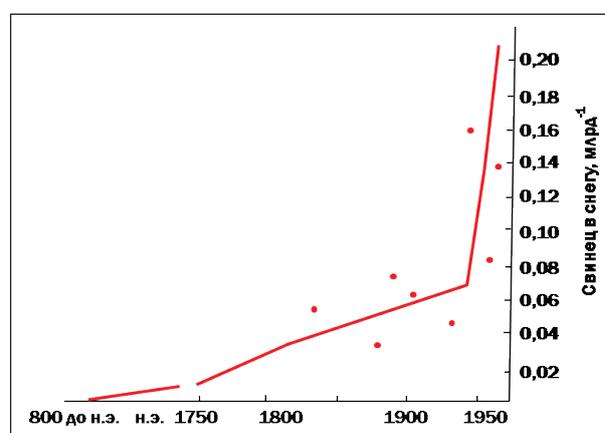
Примечание: (\*) – данные по Норе [см. 41].

полезных ископаемых и стремительным развитием технического прогресса. Интенсивные исследования влияния естественных и антропогенных процессов на глобальные изменения природной среды являются характерными практически для всех развитых стран. Они проводятся в рамках специальных международных и национальных программ, а так же в многочисленных программах экологического направления [39]. Стало очевидным необходимость изучения и понимания этих процессов для целей прогнозирования и минимизации их негативных влияний для человечества в целом. Ряд авторов, изучающих глобальные процессы, происходящие в биосфере, отмечают, что реакции живых систем не всегда являются прямолинейными и предсказуемыми. Так, изучение периодических изменений глобального характера [39] позволило установить, что биотические компоненты биосферы «... благодаря свойственному им гомеостазису, поведенческой и эволюционной гибкости, устойчивости создаваемых ими экосистем, реагировали на климатические изменения не столь однозначно и предсказуемо, как косные элементы» (стр. 21). Это свойство живого – реагировать неоднозначно, исходя из адаптационных свойств организмов, вырабатываемых в ходе эволюции и приспособления к условиям обитания, проявляется и при рассмотрении изменений элементного состава отдельных организмов. Так, Хопкин и Мартин (Hopkin, Martin) показали, что хищные многоножки (Chilopoda), отловленные на местах с повышенным содержанием цинка, кадмия, свинца, меди, показывают большую устойчивость к провокационному действию токсических факторов, по сравнению с животными фоновых участков [19]. Неоднозначный характер резистентности может объясняться как свойствами самого организма, так и спецификой факторов, по отношению к которым она вырабатывается. В работе В.Н. Позолотиной [74], в частности, отмечается, что биологические последствия хронического действия радиации проявляются в последующих поколениях даже после снятия этого стресса, в то время как тяжелые металлы не оставляют тяжелых последствий потомству.

Кроме того, реакция живых систем зависит от уровня их

организации. Например, Л.П. Брагинский вполне обоснованно отмечает, что «... если для отдельного индивидуума смерть означает страшнейшее и последнее поражение в борьбе за существование, то для популяции массовая смертность – всего лишь отсев менее приспособленных особей и некоторая реорганизация биологической системы, обеспечивающая ее сохранность» [19, стр. 23]. Если говорить о клеточно – тканевом уровне организации, то отдельная функционально зрелая клетка даже после относительно больших доз токсиканта живет и выполняет свои функции.

Однако, когда речь идет о выживаемости человечества и в конкретном случае – о жизни и смерти отдельного человека, мы не можем рассматривать проблему отрешенно и в общем. Как бы ни критиковался антропоцентристский подход, однако для нас важно сохранение жизни и здоровья людей в первую очередь. Насколько сильны изменения, происходящие в биосфере, и как это отразится на состоянии здоровья человека – это актуальнейшие вопросы, перед которыми стоит человечество. К сожалению, мы не имеем достаточных данных, чтобы оценить средние показатели элементного состава организма человека, хотя эту



**Рис. 1.** Содержание свинца в ледниках Гренландии. Возраст образцов льда соответствует их глубине [71]

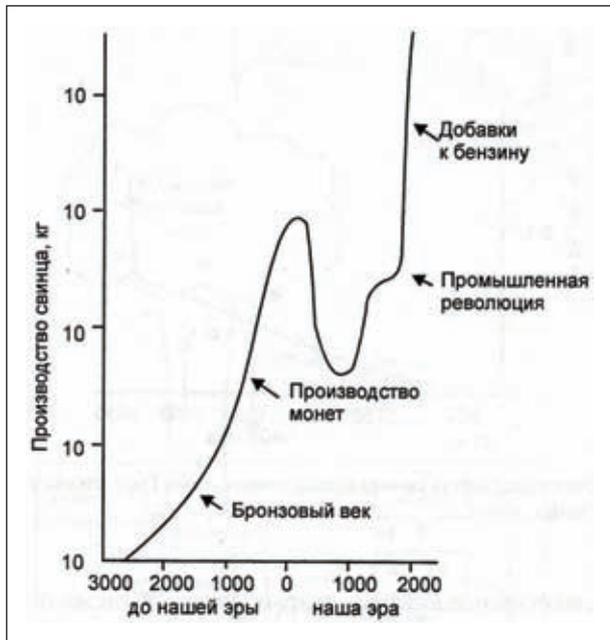


Рис. 2. Производство и потребление свинца в истории человека [102]

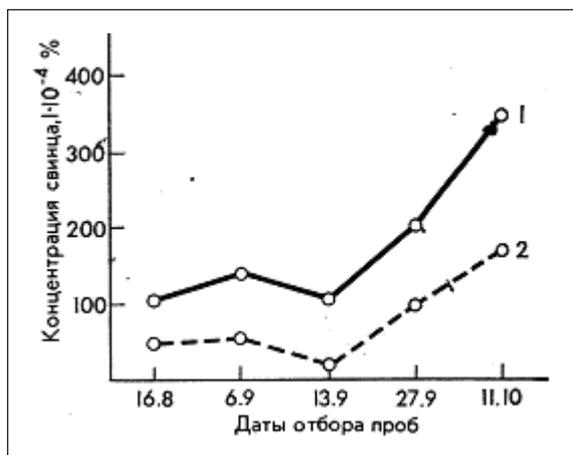


Рис. 3. Изменение концентрации свинца в листьях кустарника с начала августа по октябрь при плотности движения автомашин в день: 1–28 тыс.; 2–12 тыс. [17]

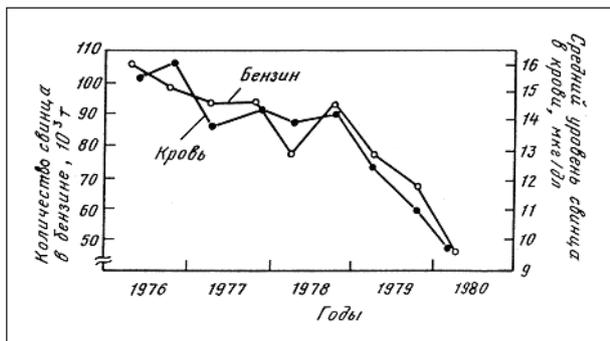


Рис. 4. Снижение уровня свинца в крови населения США при прекращении выпуска этилированного бензина [111]

задачу ставил В.И. Вернадский еще на заре прошлого столетия. Он писал: «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...» [30, стр. 148]. В то же время вопрос изменения геохимии природных сред изучался достаточно интенсивно. Глобальные последствия техногенеза широко известны, к ним относят парниковый эффект, опустынивание аридных зон, загрязнение и зарегулирование поверхностного стока, кислотные дожди и ряд других глобальных проблем. Человечество столкнулось с проблемой глобального антропогенно – геохимического рассеяния [98]. Антропогенное рассеяние химических элементов является закономерным следствием индустриального техногенеза. Впервые о глобальном масштабе этого процесса заговорили в конце 70-х годов прошлого столетия. Было установлено, что реальную угрозу выживания человечества и сохранению биосферы Земли представляет антропогенное рассеяние таких токсичных для биоты компонентов как мышьяк, ртуть, хром, свинец, ванадий, кадмий и др. [103].

Аналитические возможности современного мира позволяют проследить изменение геохимического фона самых разных оболочек нашей планеты, включая биосферу, живую оболочку, пронизывающую все остальные. Так, по данным В.Н. Башкина [18] в пределах Европы в 1996 году общая природная эмиссия ртути в атмосферу составила 219 тонн в год, в то время как прямая антропогенная – 326 тонн/год. Таблица 1. демонстрирует данные по глобальной эмиссии некоторых химических элементов, связанной с преобразованием биосферы в условиях техногенеза [41]. Очевидно, что техногенная эмиссия элементов значительно превосходит природную. Автор отмечает, что: «в настоящее время антропогенные факторы настолько грандиозны и мгновенны во времени, что ставят насущную задачу локальной и глобальной оценки протекаемых техногенных процессов и защиты организмов от их вредного воздей-

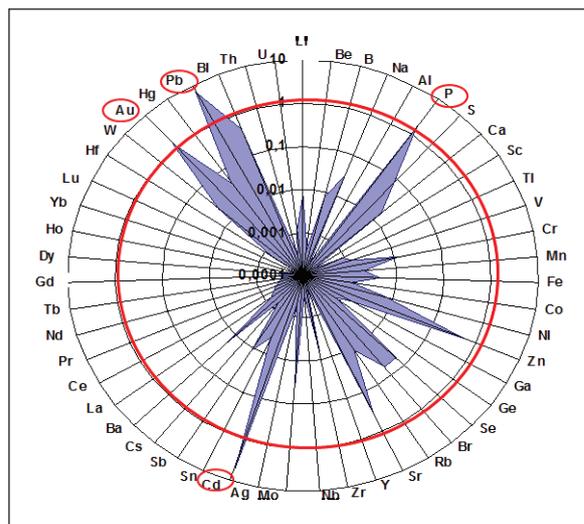


Рис. 5. Коэффициент накопления элементов в органах и тканях человека (сырая масса), относительно геохимического кларка [37] ноосферы (биосферы)

ствия» [41, стр. 6].

О масштабах проявления эколого – геохимических изменений в биосфере достаточно подробно изложено в работах В.А. Алексеенко [4–5]. К ним автор относит «...такие геохимические изменения в биосфере, которые оказывают воздействие на живое вещество или на отдельные организмы» [5, стр. 386]. Им приведены три основные причины этого воздействия: 1) меняющееся содержание элемента (распространенность); 2) изменение их распределения (разброса) и 3) изменения соотношения между основными формами нахождения химических элементов с появлением их новых форм.

Изменения носят как глобальный характер, так и локальный, связанный с деятельностью, как правило, одного или нескольких производственных объектов и изучение которых связано с прикладными задачами.

К глобальным проявлениям техногенного изменения эколого – геохимической обстановки биосферы автор, в качестве примера, относит металлизацию биосферы и, в частности, так называемое свинцовое загрязнение. Действительно, начавшееся локальное загрязнение окружающей среды в результате работы автотранспорта, развития химической и металлургической промышленности при их обилии становились постепенно глобальной проблемой [103]. Наглядным примером является факт накопления свинца в леднике Гренландии (рис. 1). Содержание элемента хоть и варьирует, однако наблюдается явная корреляция его с количеством, выбрасываемым в воздух предприятиями и автомобилями [71]. По данным [102] производство и потребление этого элемента напрямую зависит от деятельности человека (рис. 2). Необходимо отметить, что живые организмы активно реагируют на изменение этого элемента в окружающей среде как в сторону увеличения дозы накопления, так и в сторону уменьшения. В случае со свинцом, количество автомобилей напрямую влияло на увеличение концентрации в растениях (рис. 3), а мероприятия, проводимые по уменьшению его содержания в окружающей среде (в частности запрет на этилирование бензина), сопровождалось уменьшением его содержания в крови населения (рис. 4).

Этот графический материал убедительно свидетельствует о выполнении одного из законов Б. Коммонера – «Все связано со всем». В 50–70-е годы прошлого столетия на примере этого элемента и других множеством авторов было показано, что изменение концентрации элементов в результате интенсивного антропогенного воздействия в живых организмах может варьировать в очень широких диапазонах. Так, Копито с сотрудниками [103] показали, что содержание свинца в волосах в случае отравления свинцом достигало 0,1% при нормальном содержании –

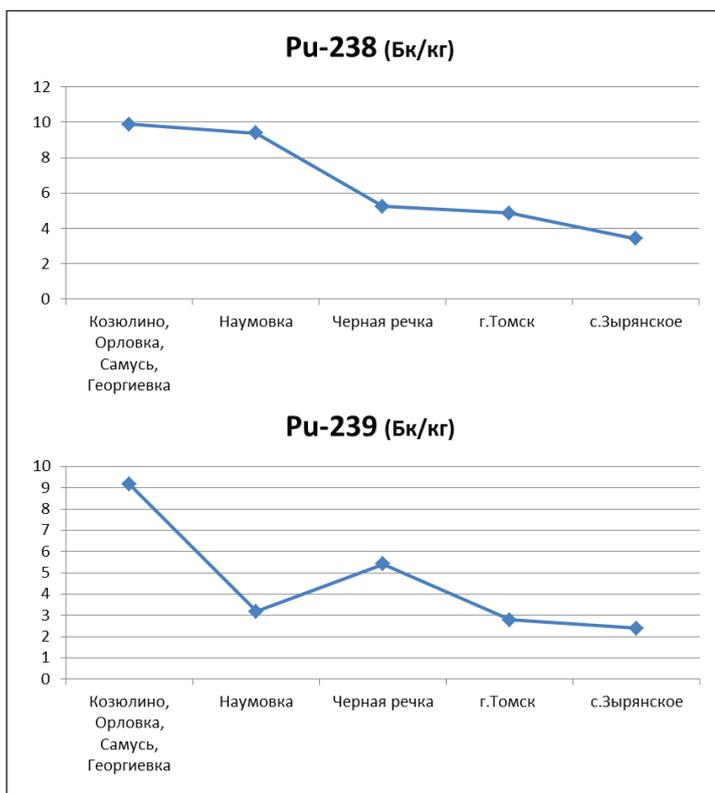


Рис. 6. Уровни накопления изотопов плутония в волосах детей населенных пунктов Томской области

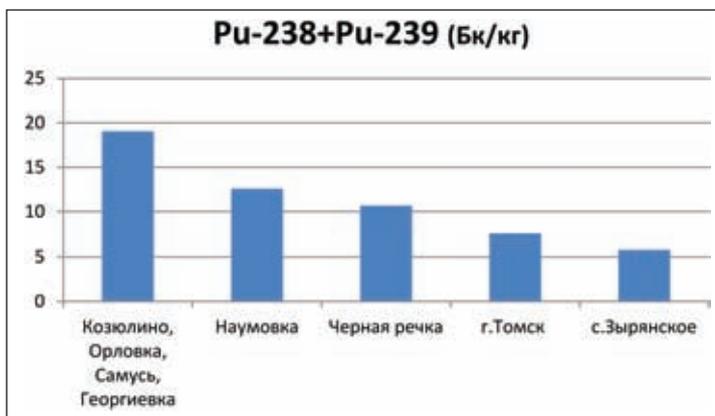


Рис. 7. Уровни накопления суммы изотопов плутония в волосах детей населенных пунктов Томской области по степени удаления от техногенного источника

$2,4 \times 10^{-3}\%$ . Д. Брайс-Смитом [103] было установлено, что для мужчин, проживающих в городских районах Филадельфии уровень свинца был значительно выше предполагаемой нормы и составлял для некоторых более  $0,5 \times 10^{-4}\%$ . Нормой для крови людей США и Англии, а так же жителей Новой Гвинеи считалось содержание  $0,2 \times 10^{-4}\%$  [103, 23].

Проведенные нами исследования органов и тканей организма человека [14, 46] позволяют говорить о глобальных проблемах накопления этого токсиканта в организме человека в целом (рис. 5).

О глобальном изменении биосферы в результате тех-

ногенеза, можно судить по изменению уровня накопления абсолютно чуждого биосфере элемента – плутония. Так, до 1945 года этого элемента не существовало вообще. В 1953 году он обнаруживался в количествах 0,0007 Бк/г, в 1954 году количество возрастает до 0,013 Бк/г, а к 1958 активность этого элемента в легочной ткани человека достигает 0,25 Бк/г.

Полученные нами данные свидетельствуют, что на накопление изотопов плутония в живых организмах оказывает существенное влияние техногенный фактор. Так, подробный анализ концентрирования как отдельных изотопов, так и их суммы в волосах детей Томской области выявил тенденцию увеличения содержаний по мере приближения к зоне влияния Сибирского химического комбината – населенные пункты Козюлино, Орловка, Самусь, Георгиевка, Наумовка (рис. 6–7) [70].

Кроме того, в крови жителей в зонах воздействия ядерного техногенеза наблюдается присутствие «горячих частиц» (рис. 8) [14].

Микровключенные (наноминерал) делящегося радионуклида ( $U^{235}$ , Pu, Am и др.) наблюдается в крови жителя г. Северска. На общем фоне специфичных 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. [20] на чешуе рыбы из протоки Чернильщикова, а так же в почвах [8]. В таких почвах под электронным микроскопом Е.Г. Языковым и другими было выявлено присутствие оксида урана ( $UO_2$ ) [97]. Таким образом, можно констатировать, что это является возможным фактом наличия влияния предприятий ядерно – топливного цикла, что отражается на характере накопления и распределения радиоактивных элементов в составе крови жителей, проживающих на прилегающих территориях.

Можно предполагать наличие такого же отклика живого вещества планеты на изменение концентрации любого другого элемента. Развитие ядерного техногенеза приводит к возникновению аномально высоких концентраций ряда специфичных элементов (как плутоний, уран, цезий и др) в различных объектах живой и неживой природы. Результаты исследований Л.П. Рихванова и др. [77] свидетельствуют, что уровень накопления делящихся элементов ( $U^{235}$ , Pu, Am и другие трансурановые элементы) в природной среде увеличился в глобальном масштабе в 2–3 раза (рис. 9). А в отдельных локальных участках, местах расположения предприятий ядерно-топливного цикла, испытательных ядерных полигонов (ИЯП) этот уровень изменился более существенно [7, 44, 104].

Глобальные изменения так же хорошо демонстрируют данные Л.П. Рихванова и др. [78, 82, 80] по содержанию

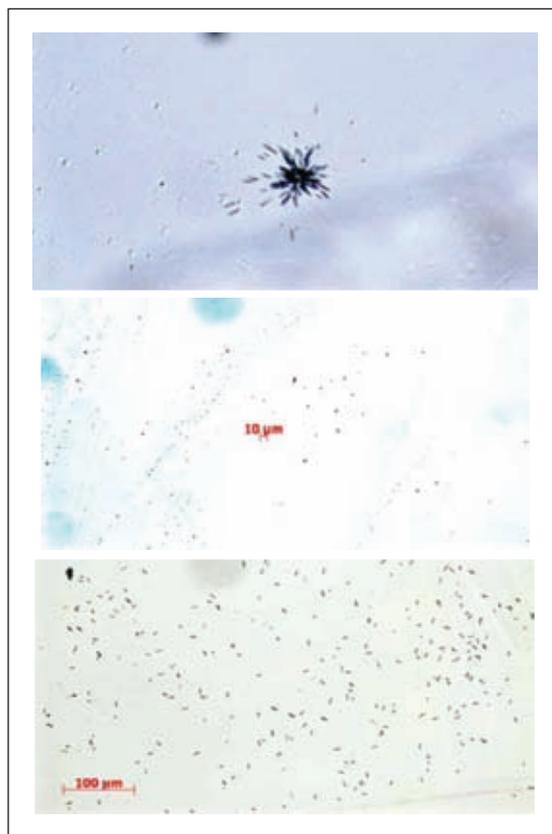


Рис. 8. Распределение треков на слюдяном детекторе от делящихся элементов в крови жителей г. Северска (верхний слева), г. Стрежевого (верхний справа) в сравнении с распределением треков от урана – 235 в контрольном образце (нижний). Увеличение указано линейкой на рисунках

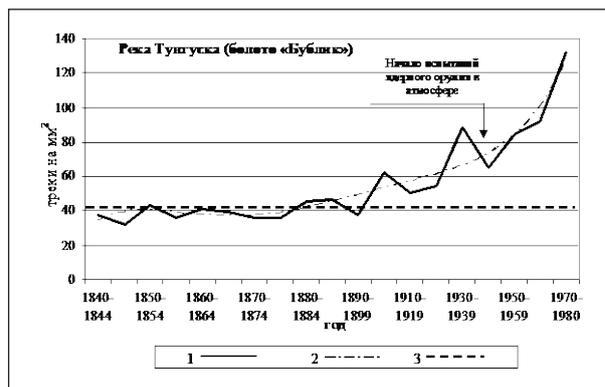


Рис. 9. Изменение глобального фона делящихся радионуклидов ( $U^{235}$ , Pu, Am и др.) за последние 150 лет (по результатам f-радиографии колец деревьев). Условные обозначения: 1 – кривая по наблюдательным точкам; 2 – сглаженная кривая; 3 – региональный уровень. [77]

урана в ледниковой воде (рис. 10), цезия по данным А.М. Межибор [65] в торфах (рис. 11).

Повсеместно происходит изменение элементного со-

става почв, что обусловлено как локальными преобразованиями, так и глобальными выпадениями техногенных компонентов [73, 57, 38, 69, 40 и многие другие).

Изменения глобального геохимического фона характерны и для водной среды. Так, нефтяное загрязнение в результате добычи и транспортировки углеводородов приводит к непоправимым последствиям. С момента возникновения морских перевозок нефти с помощью танкеров в море ежегодно попадает около 5 млн. т нефти [114]. А процесс аварийного выброса нефти, как это случилось в Мексиканском заливе в 2010 г., приведет к необратимым последствиям, которые трудно оценить на данном этапе. Высокий уровень загрязнения вод нефтью и нефтепродуктами наблюдается на обширных акваториях Мексиканского и Персидского заливов, северного побережья Аляски и Канады, в Карибском и Аравийском морях и других частях Мирового океана, где естественные выходы нефти расположены на побережье и континентальном шельфе [83]. Кроме того, захоронение химических, радиоактивных веществ изменяет геохимический облик Мирового океана, непосредственно вовлекая в эти изменения живые организмы. Глобальный перенос веществ с аэрозолями и сток с реками формирует специфику бентосного отложения в эстуариях и на дне океанов, позволяет говорить о перераспределении элементов в составе гидросферы [58]. Вклад в процессы перераспределения вносит и изменение климата на Земле. Так, по данным В.П. Шевченко [47–48] возрастает роль речного стока как одного из механизмов загрязнения окружающей среды Арктики. Это связано с оттаиванием почвы на части территории, прежде относящейся к зоне вечной мерзлоты, что сопровождается попаданием аккумулярованных там за многие годы антропогенных составляющих в воды рек, впадающих в моря

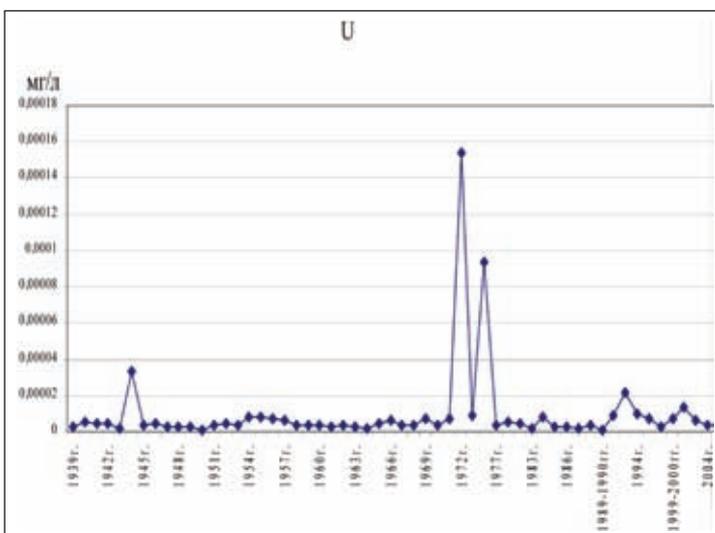


Рис. 10. Содержание урана в снеготалой воде ледника Актру, Горный Алтай, 2005 [80]

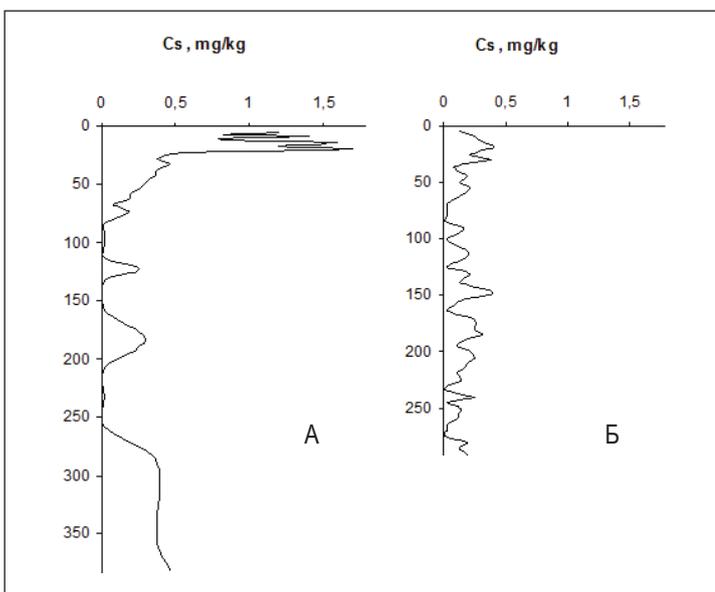


Рис. 11. Содержание цезия в торфах в зоне влияния СХК (А) и фоновом районе (Б) [65]

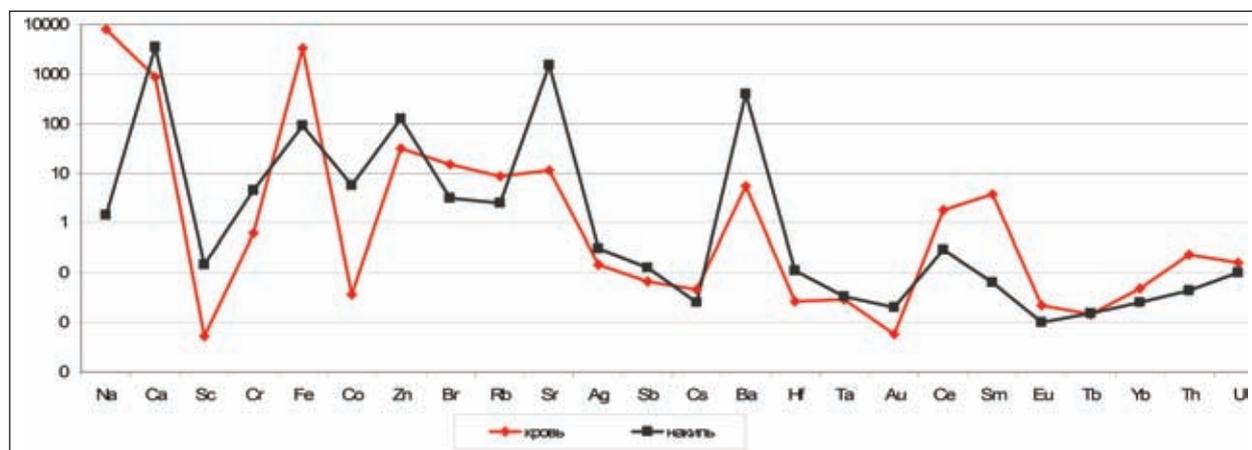


Рис. 12. Распределение элементов в накипи питьевых вод и в крови человека

Северного Ледовитого океана [48]. Процессы, происходящие в масштабе Мирового океана именно в силу его огромности, могут привести к смещению природного равновесия. По отношению к загрязнениям масса океана выступает в качестве эффективной буферной емкости, но именно поэтому на ней сильнее сказывается остаточное действие загрязнений, нарушающих сложившиеся в океане жизнен-

ные циклы. Огромную опасность представляет загрязнение океана такими металлами, как ртуть, свинец, кадмий, медь, цинк, хром и др. В силу существования теснейшей взаимосвязи между всеми оболочками Земли невозможно предусмотреть все последствия интенсивного накопления токсикантов в любой из них. Ярким примером может служить печально известная болезнь человека, появившаяся

**Таблица 2.** Содержание микроэлементов (мг/кг) в различных средах, отобранных на разном расстоянии от города [22]

Элемент	Волос детей			Мед			Молоко		
	Ближняя зона	Дальняя зона	Кн	Ближняя зона	Дальняя зона	Кн	5 км	15 км	30 км
Br	0,327	0,104	3	–	–	–	14,20	13,82	11,01
Na	10,4	3,89	2,7	–	–	–	–	–	–
K	16,79	7,11	2,4	–	–	–	–	–	–
Cl	59,92	23,51	2,5	–	–	–	–	–	–
Rb	–	–	–	–	–	–	13,82	19,91	13,82
Zn	–	–	–	–	–	–	16,06	15,71	17,15
Fe	–	–	–	–	–	–	34,03	59,49	68,63
Au	–	–	–	0,396	0,157	2,5	–	–	–
Sc	–	–	–	0,253	0,145	1,7	–	–	–
Co	–	–	–	0,258	0,100	2,5	–	–	–

Примечание: «–» – элемент не определялся; Кн – коэффициент накопления.

**Таблица 3.** Биогеохимическая специфика воздействия разнопрофильных предприятий на биологические ткани человека, проживающего на различных территориях

Техногенный источник	Территория	Объект исследования	Биогеохимическая специфика
Предприятия ядерно-топливного цикла	Томская область (СХК)	Волосы детей	<u>Th21–Lu15–Fe9–Sc9–Hf8–Co6–Cr5,8–U5,6–Br4,9–Sm4,5–La3,6–Ce3–Ca2–Zn1,6–Au1,4–Rb1,2</u>
	Челябинская область (ПО «Маяк»)	Волосы детей	<u>Th1,9–Na1,7–Br1,5–Ce1,2–Lu1,1–La1,1–Co1–Sm1–U1–Zn1</u>
	Челябинская область (ПО «Маяк»)	Кровь человека	<u>Sb3–Rb1,2–Hf1,1–U1–Lu1–Yb1–Sr1–Zn1–Co1–Fe1</u>
	Томская область (СХК)	Кровь человека	<u>Ce21–Br9,5–La7–Hf3,6–Th3,5–Yb3,3–U2,5–Na2,4–Sc2,3–Cr2,1–Sb2–Zn1,8–Rb1,4–Co1,1–Se0,9–Fe0,9</u>
Предприятия нефтегазодобычи и нефтепереработки	Томская область	Волосы детей	<u>Th5–Hf2,6–Au2,3–Sm2,2–Sc2,1–Ca1,7–Cr1,6–Co1,6–Ce1,5–Sb1,4–Br1,3–Ag1,3–Fe1,2–Na1,2–Rb1,1–La1,1–Zn1–Yb1–Lu1–U1</u>
		Кровь детей	<u>Zn92–Sm7–Cr6–Na3,8–Yb3,3–Br2,6–Ca2–Sb2–Sc1,8–U1–Au1</u>
Предприятия топливно-энергетического комплекса и металлопереработки г. Томска	Томская область	Кровь детей	<u>Zn 61–Cr16–Sc7–Br5–Na4–Co2–Au1,6–Rb1,2–Ag1,1–Yb1</u>
		Волосы детей	<u>Sm13–La8–Fe5,3–Sc5–Hf4,9–Lu3,7–U3,7–Cr3,3–Br3,2–Co3–Au2,2–Th1,8–Yb1,7–Sb1,7–Ag1,7–Ca1,7–Zn1,3–Ce1,1–Na0,8</u>
		Молоко кормящих матерей	<u>Co29–Cr21–Sc15–La6–Br5–Sm4–Ce3–Sb2,8–Au2,6–Rb2,2–U2,2–Hf2,1–Lu2–Ag1,8–Zn1,4–Yb1,3–Th0,7</u>
		Моча новорожденных	<u>Hf5,6–Ce4,2–Sm4–Au3,9–Cr3,6–Lu2,6–Sc2,2–U1,7–Br1,4–Ag1,4–Th1,4–Rb1,1–Yb1–Sb0,7</u>

Примечание: подчеркнуты элементы, встречающиеся в двух и более тканях в количестве, превышающем условно выбранные на территориях фоновые значения для каждого типа техногенного воздействия.

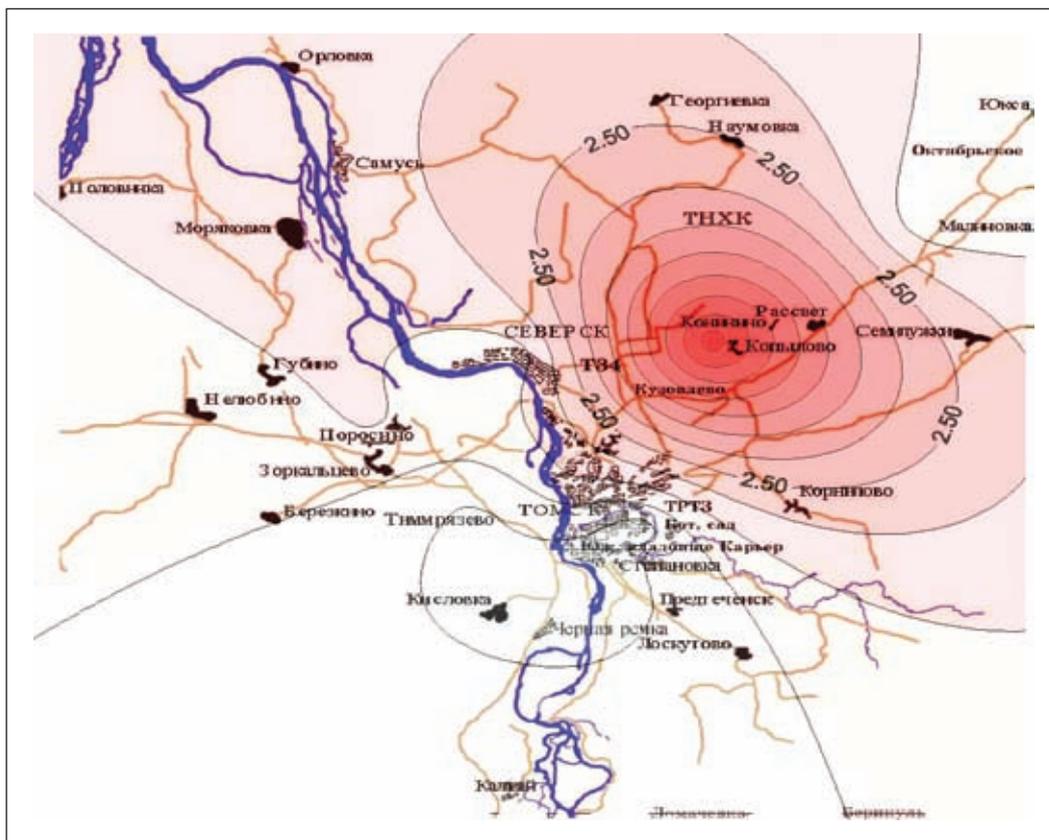


Рис. 13. Схема распределения кобальта в организме *Rana arvalis* в пригородной зоне Томска

в префектуре Минамата в Японии между 1953 и 1960 гг, от которой погибли или стали инвалидами 111 человек. Причиной болезни было употребление в пищу рыбы и креветок, отравленных диметилртутью, которую выбрасывал в море завод, производивший поливинилхлорид [16]. Другие токсичные элементы так же могут служить причиной токсикации организма человека в случае употребления в пищу морепродуктов. Морские животные, в особенности фильтрующие организмы, способны накапливать и радиоактивные элементы, попадающие в океан после ядерных взрывов и с промышленными отходами. Радиоактивные отходы, поступление которых по данным Р. Колас в 1958 году составляло около 10 тысяч тонн в год, в 1965 уже составляли 100 тысяч [16]. В наше время по некоторым оценкам, на предприятиях по добыче и переработке урановых руд в отвалах и хвостохранилищах скопилось  $10^8$  м<sup>3</sup> радиоактивных отходов с активностью  $1,8 \times 10^5$  Ки (данные по [82]). Какая часть из этого огромного количества попадет в гидросферу сказать сложно.

Увеличивается поток в воды и органических загрязнителей [16]. Значительный вред наносят огромные количества химических веществ, создаваемых в военных целях и захороненных в Баренцевом и других морях.

Работами П.А. Поповым [7], Г.А. Леоновой [62], Т.И. Моисеенко [66] и многими другими ав-

торами показано, что происходят изменения живого вещества пресноводных водоемов, связанное с воздействием антропогенно-техногенных факторов. Результаты многочисленных исследований говорят о локальных и глобальных процессах изменения элементного состава вод рек и живых организмов, обитающих в них [72]. Все эти изменения еще раз подтверждают факт изменения глобального геохимического фона гидросферы. Несомненно, они влияют на формирование элементного состава всего живого.

Наши исследования [67] показали, что процессы техногенеза активно влияют и на качество питьевых вод. Эле-

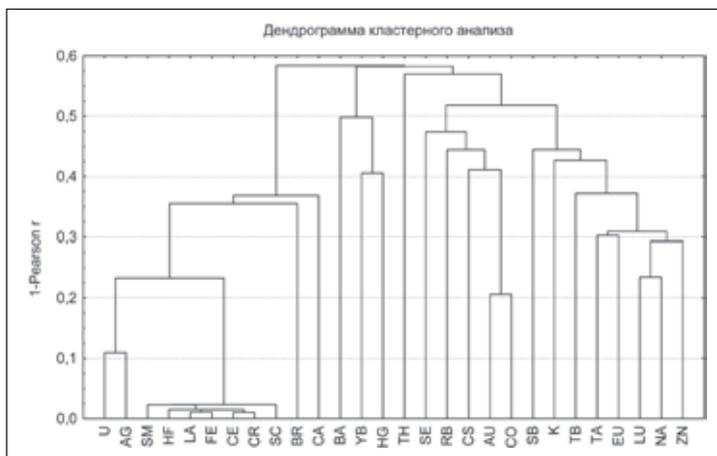


Рис. 14. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра организма *Rana arvalis*. (1 – Pearson  $r_{0,5} = 0,5$ )

ментный состав накипи такой воды отражает ее состояние и хорошо коррелирует с элементным составом крови человека (рис. 12).

Ряд ученых трудится над решением вопроса нормирования химических веществ [59, 47]. Это огромная проблема – поиск критериев для понятия «норма», «загрязнение», «патология» и т.д. Вопрос применения нормативных показателей при анализе состояния окружающей среды и ее влияния на живые организмы, прежде всего на организм человека (поскольку инстинкт самосохранения требует этого от нас), является «краеугольным камнем» при выработке стратегий поведения и при принятии решения о необходимости корректировки мероприятий по профилактике и лечению патологий. Проблемы нормирования нагрузок на экосистемы обсуждаются у нас в стране уже более двух десятилетий, однако ни одна из имеющихся концепций не позволяет ответить на все вопросы, возникающие в практике [59, 47]. Субъектом оценки нормы экосистемы может быть только человек, хотя эта точка зрения не является общепринятой, поскольку для самой системы любое ее состояние «нормально» [35, 19]. Связь между состоянием популяционного здоровья населения и биогеохимической структурой 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.

По словам В.В. Добровольского [40]: «Техногенное рассеяние металлов не столько отражается на общепланетарном загрязнении, сколько поражает ограниченные площади... На участках локального загрязнения глубоко поражается биота, создаются ситуации, опасные для населения. Учет закономерностей геохимии рассеянных элементов необходим для предвидения и предупреждения нежелательных последствий» [40, стр. 255].

Исследования, проводимые учеными Сибирского региона [68, 60, 61, 10, 7, 62 и многие другие], убедительно показывает правоту этого вывода. Так, на территории Томской области проводимые в разное время многочисленные исследования показали, что основные предприятия областного центра оказывают существенное влияние на геохимическую специфику различных сред, в том числе и на состав живых организмов. Влияние города показано в работах томских исследователей А.П. Бояркиной, Н.В. Васильева, Г.Г. Глухова (см. [78]). Так, А.П. Бояркиной и др. [22] установлено уменьшение содержания ряда элементов в зависимости от удаленности от г. Томска в таких средах, как молоко, мед, волосы детей (табл. 2).

Наши исследования волос детей и ряда других биологических объектов, подтвердили сделанные автором выводы [11, 15, 12–13, 14]. Кроме того, увеличив спектр исследуемых элементов мы установили специфику влия-

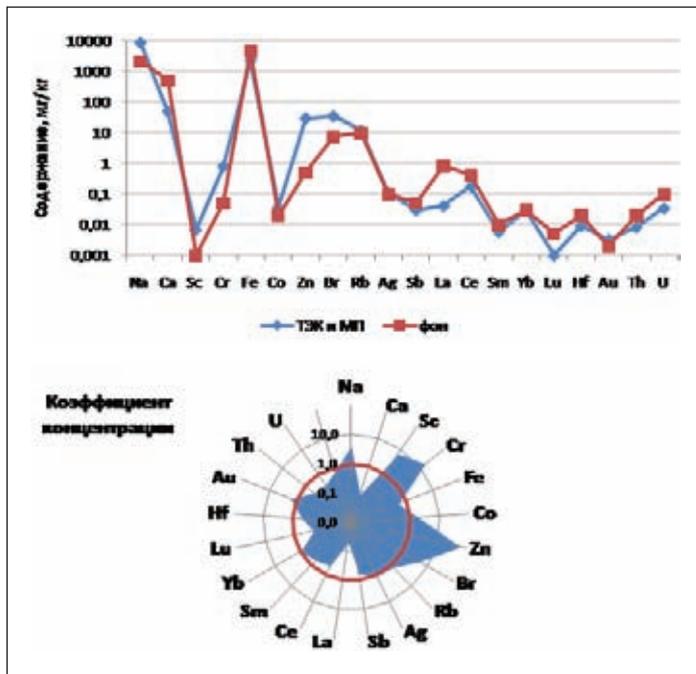


Рис. 15. Характер накопления элементов в крови населения г. Томска: верхний график – сравнение с фоновым участком (п. Лоскутово, Томской области), нижний – коэффициент концентрации, полученный при нормировании содержания к фоновым значениям

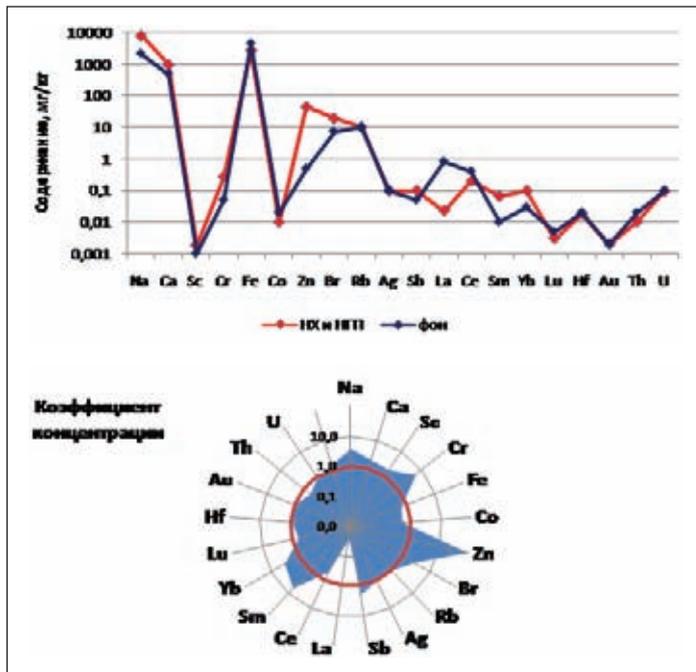


Рис. 16. Характер накопления элементов в крови населения г. Стрежевой: верхний график – сравнение с фоновым участком (п. Лоскутово, Томской области), нижний – коэффициент концентрации, полученный при нормировании содержания к фоновым значениям

ния территориальных факторов и специфики производств как на территории г. Томска, так и для каждого из административных районов Томской области [15, 14, 81, 70]. Установлена подобная специфика и для других территорий (табл. 3).

Работами Н.С. Москвитиной и др. [68] установлено, что химические элементы, накапливающиеся в органах млекопитающих, в частности мышевидных грызунов, обитающих на территориях с высокой техногенной нагрузкой, соответствуют геохимическим особенностям района исследования.

Эти исследования проводились в зоне влияния Северного промышленного узла г. Томска, который характеризуется наличием большого количества предприятий различного профиля, оказывающими специфическое воздействие на прилегающие территории [94].

А.С. Бабенко [10] указывает, что наиболее удобным объектом для отслеживания распространения ряда редкоземельных элементов (Th, Hf, Yb, Eu, Rb) являются стафилиниды, в то время как для элементов U, Vg более удобны бурозубки и красно-серые полевки [10].

Проведенные совместные исследования В.Н. Курановой и др. [60] позволили установить, что микроэлементный состав земноводных отражает воздействие на них окружающей среды. Так, изучение карты-схемы распределения кобальта на территории Томского района позволило установить, что преимущественное воздействие на организм амфибий северного пригорода Томска оказывают предприятия Северного промышленного узла (рис. 13).

Его ореол совпадает с зоной повышенной концентрации элемента  $Co^{60}$  в пылеаэрозольных выпадениях на чердаках домов населенных пунктов этого района [78], состава волос и крови населения [11, 12, 13].

Анализ дендрограммы корреляционной матрицы, составленной по результатам изучения элементного состава амфибий разных участков позволил выявить несколько групп ассоциаций, возможно указывающих на предположительные источники природно-техногенного влияния (рис. 14).

Выделяются следующие основные ассоциации химических элементов: 1 – Sm, Hf, La, Fe, Ce, Cr, Sc, а также U, Ag – наиболее вероятными источниками их поступления в окружающую среду и организм амфибий являются предприятия топливно-энергетического комплекса; а также природные геохимические аномалии; 2 – Lu, Na, Zn, Ta, Eu, Tb, K, Sb – связанная с деятельностью предприятий военно-промышленного комплекса; 3 – Co, Au, Cs, Rb, Se – аэрозольные выбросы СХК; 4 – Hg, Yb, Ba – происхождением связаны со сбросами технологических вод предприятия ядерно-топливного цикла (СХК). Сходные тенденции

отмечают в других средах ряд исследователей [78].

Работы Г.А. Леоновой [62], Попова [75], А.В. Торопова [89] убедительно свидетельствуют о влиянии фактора техногенеза локального уровня на водную биоту – планктон, водоросли, рыбу.

Наши исследования показали, что происходит локальное концентрирование специфических химических элементов в зоне влияния промышленного объекта [14].

Так, изучение вопроса накопления химических элементов в крови человека позволило установить характер воздействия предприятий, выражающийся в накоплении определенного спектра химических элементов в ее составе, позволило выделить специфику этого воздействия.

Установлено, что 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, Vg, Au и в меньшей степени Yb, Ag. (рис. 15).

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. Лоскутов Томской области) значительно концентрируются натрий, кальций, скандий, цинк, хром, бром, сурьма, самарий и иттербий (рис. 16).

Таким образом, весьма обширный материал о биогеохимии живых организмов, ярко показывает, что происходят значимые и быстрые по времени изменения в биосфере. Значительное влияние техногенеза, проявляющееся в изменении химизма среды и биологических структур, требует изменения в подходах к анализу последствий этих процессов и пересмотру профилактических и гигиенических мер для улучшения здоровья человека, животных и растений.

Работа выполнена при поддержке ГК №14.740.11.1036.

## Литература

1. Агаджанян Н.А. Экология человека в изменяющемся мире / Н.А. Агаджанян, С.И. Александров, О.И. Аптикаева, Т.В. Гаврилова и др.; под ред. В.А. Черешнева. – Екатеринбург: Уро РАН, 2006. – 570 с.
2. Авцын А.П. Принципы классификации заболеваний биогеохимической природы / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, Л.С.

Строчкова // Архив патологии, 1983. – №9. – С.3–10.

3. Авцын А.П. Микроэлементозы человека / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, М.А. Риш, Л.С. Строчкова. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
4. Алексеев В.А. Экологическая геохимия / В.А. Алексеев. – М.: Логос, 2000. – 627 с.

5. Алексеевко В.А. Эколого–геохимические изменения в биосфере. Развитие, оценка: монография / В.А. Алексеевко. – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 520 с.
6. Андервуд Э. Микроэлементы у животных / Э. Андервуд // Микроэлементы: сб. / под ред. Катальмова М.В. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. – С.51–66.
7. Архангельская Т.А. Ретроспективная оценка радиозкологической ситуации по результатам исследования годовых колец срезов деревьев: автореф. дис. ... к.г.–м.н. / Т.А. Архангельская. – Томск, 2004. – 21 с.
8. Архангельский В.В. Уран, торий и редкоземельные элементы как индикаторы антропогенного воздействия на почву юга Томской области / В.В. Архангельский, Л.П. Рихванов // Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства. Гидрогеология и инженерная геология. Геоэкология и мониторинг геологической среды: Матер. Межд. науч.-практ. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2001. – С.124–127.
9. Бабенко Г.А. Применение микроэлементов в медицине / Г.А. Бабенко, Л.П. Решеткина. – Киев: «Здоров'я», 1971. – 468 с.
10. Бабенко А.С. Экология стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) лесных и антропогенно трансформированных экосистем Юга Западной Сибири: автореферат дис. ... д.б.н. / Андрей Сергеевич Бабенко – Новосибирск, 1998. – 39 с.
11. Барановская Н.В. Индикаторные свойства элементного состава крови человека / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, О.А. Кузнецова // Современные проблемы геоэкологии и сохранения биоразнообразия: Материалы II Международной конференции, Бишкек, 18–21 сентября 2007. – Бишкек, 2007. – С.114–116.
12. Барановская Н.В. Уран и торий в органах и тканях человека / Н.В. Барановская, Т.Н. Игнатова, Л.П. Рихванов // Вестник ТГУ, 2010. – №339. – С.182–188.
13. Барановская Н.В. Об актинидах в живом веществе / Н.В. Барановская // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы III Международной конференции, Томск, 23–27 июня 2009 г. – Томск: STT, 2009. – С.73–82.
14. Барановская Н.В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно – антропогенных экосистем: авторефер. дис. ... д.б.н. / Барановская Наталья Владимировна. – Томск, ТГУ, 2011. – 47 с.
15. Барановская Н.В. Региональная специфика элементного состава волос детей, проживающих на территории Томской области / Н.В. Барановская, Д.В. Швецова, А.Ф. Судыко // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т.319. – №1. – С.212–220.
16. Барбье М. Введение в химическую экологию / пер. с фр. Э.П. Серебрякова, под ред. Ю.А. Овчинникова. – М.: Изд-во «Мир», 1978. – 229 с.
17. Батоян В.В. 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.
18. Башкин В.Н. Биогеохимия / В.Н. Башкин. – М.: Научный мир, 2004. – 584 с.
19. Безель В.С. Экологическая экотоксикология: популяционный и биоценологический аспекты / В.С. Безель; под ред. Е.Л. Воробейчика. – Екатеринбург: Изд-во «Гоцицкий», 2006 – 280 с.
20. Берзина И.Г. Радиоактивное загрязнение биологических объектов и природных сред в районе пос. Муслимово (Челябинская область) / И.Г. Берзина, В.А. Четкин, М.В. Хотулева и др. // Радиоактивная биология. Радиозкология, – 1993. – №2. – С.33.
21. Боуэн Г. Радиоактивационный анализ. / Г. Боуэн, Д. Гиббонс. – М.: Атомиздат, 1968. – 360 с.
22. Бояркина А.П. Аэрозоли в природных планшетах Сибири / А.П. Бояркина, В.В. Байковский, Н.В. Васильев, др. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1993. – 157 с.
23. Брукс Р.Р. Загрязнение микроэлементами / Р.Р. Брукс // В кн.: Химия окружающей среды. – М.: Химия, 1982. – С.371–413.
24. 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.
25. Вернадский В.И. Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры / В.И. Вернадский. – Пг.: Время, 1922. – 48 с.
26. Вернадский В.И. Биосфера / В.И. Вернадский. – Л.: Гостехиздат, 1926. – 146 с.
27. Вернадский В.И. Общие соображения к изучению химического состава живого вещества / В.И. Вернадский // Тр. Биогеохим. лаб., 1930. – Т.1. – С.5–32.
28. 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.
29. Вернадский В.И. Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры / В.И. Вернадский // Избранное собр. сочинений. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – Т.V. – С.141–160.
30. Вернадский В.И. Живое вещество / В.И. Вернадский // Живое вещество и биосфера. – М.: Наука, 1994. – С.19–314.
31. Виноградов А.П. Геохимия живого вещества / А.П. Виноградов. – Ленинград: АН СССР, 1932. – 67 с.
32. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов моря / А.П. Виноградов // Тр. Биогеохим. лаб. – 1935. – Т.3. – С.63–278.
33. Виноградов А.П. Биогеохимические провинции и эндемии / А.П. Виноградов // Докл. АН СССР, 1938. – Т.18. – №4/5. – С.283–286.
34. Виноградова Л.Д. «Я не мог пройти мимо науки...» О жизни и деятельности академика А.П. Виноградова / Л.Д. Виноградова; отв. ред. Э.М. Галимов; Ин – т геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. – М.: Наука, 2007. – 414 с.
35. Воробейчик Е.Л. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень) / Е.Л. Воробейчик, О.Ф. Садыков, М.Г. Фарафонов. – Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. – 281 с.
36. Гичев Ю.П. Экологическая обусловленность основных заболеваний и сокращения продолжительности жизни / Ю.П. Гичев. – Новосибирск: СО РАМН, 2000. – 90 с.
37. Глазовский Н.Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере / Н.Ф. Глазовский // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. – М.: Наука, 1982. – С.7–28.
38. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М.А. Глазовская. – М.: Высш.шк., 1988. – 328 с.
39. Глобальные изменения природной среды – 2001 / глав. ред.: Н.Л. Добрецов, В.И. Коваленко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. – 373 с.
40. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобаль-

- ное рассеяние / В.В. Добровольский. – М.: Мысль, 1983. – 265 с.
41. 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.
  42. Ермаков В.В. Химический элементный состав живого вещества / В.В. Ермаков, С.Ф. Тютиков // *Проблемы биогеохимии и геохимической экологии*, 2009. – №1(9). – С.3–21.
  43. Зайчик В.Е. Некоторые методологические вопросы медицинской элементологии / В.Е. Зайчик, Н.А. Агаджанян // *Вестник восстановительной медицины*, 2004. – №3(9). – С.19–23.
  44. Замятина Ю.Л. изучение истории поступления радионуклидов в окружающую среду на основе f-радиографического анализа клец деревьев: дис. ... к.г.-м.н. / Ю.Л. Замятина – Томск: ТПУ, 2008. – 112 с.
  45. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: справочник: в 6 кн. / В.В. Иванов; под ред. Э.К. Бурнекова. – М.: Экология, 1997. – Кн.6: Редкие f-элементы. – 607 с.
  46. 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.
  47. Израэль Ю.А. Экологическое нормирование: методология и практика / Ю.А. Израэль, С.Н. Семенов, И.М. Кунина // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. – Л., 1991. – Т.13. – С.10–24.
  48. Израэль Ю.А. Эволюция криолитозоны при современных изменениях глобального климата / Ю.А. Израэль, А.В. Павлов, Ю.А. Анохин // *Метеорология и гидрология*, 2002. – №1. – С.22–34.
  49. Ильин В.Б. Элементный химический состав растений / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1985. – 129 с.
  50. Ильин В.Б. Тяжёлые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 151 с.
  51. Кабата – Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
  52. Кист А.А. Феноменология биогеохимии биоорганической химии / А.А. Кист. – Ташкент, ФАН, 1987. – 236 с.
  53. Ковальский В.В. Геохимическая экология / В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 300 с.
  54. Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь / В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1982. – 315 с.
  55. 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.
  56. Ковальский Ю.В. Ритмы земной жизни: о жизненном пути и творчестве В.В. Ковальского / Ю.В. Ковальский; отв. ред. В.В. Ермаков; Ин-т геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. – М.: Наука, 2006. – 191 с.
  57. Ковда В.А. Изучение миграции и трансформации загрязняющих веществ / В.А. Ковда, А.С. Керженцев // *Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей среды*. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – С.252–256.
  58. Корж В.Д. Геохимия элементного состава гидросферы / В.Д. Корж. – М.: Наука, 1991. – 243 с.
  59. Криволицкий Д.А. Принципы экологического нормирования / Д.А. Криволицкий, Е.А. Федоров // *Влияние промышленных предприятий на окружающую среду: Тез. докл.* – Пуцино, 1984. – С.104–106.
  60. Куранова В.Н. Биоиндикационные показатели амфибий / В.Н. Куранова // *Экология промышленного города*. – Томск, 1992. – С.48–51.
  61. Куранов Б.Д. Гнездовая биология птиц в урбанизированном и техногенно загрязненном ландшафте: авторефер. дис. ... д.б.н. / Б.Д. Куранов. – Томск, 2009. – 50 с.
  62. 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.
  63. Малюга Д.П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений / Д.П. Малюга. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 264 с.
  64. Манская С.М. Геохимия лигнина / Манская С.М., Кодина Л.А. // *Очерки современной геохимии и аналитической химии*. – М.: Изд-во «Наука», 1972. – С.459–467.
  65. Межибор А.М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: авторефер. дис. ... к.г.-м.н. / Межибор Антонина Михайловна. – Томск, 2009. – 22 с.
  66. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты / Т.И. Моисеенко; Институт водных проблем РАН. – М.: Наука, 2009. – 400 с.
  67. Монголина Т.А. Элементный состав солевых отложений питьевых вод Томской области / Т.А. Монголина, Н.В. Барановская и др. // *Известия Томского политехнического университета*, 2011. – Т.319. – №1. – С.204–211.
  68. Москвитина Н.С. Популяционная экология мелких млекопитающих юго-востока Западной Сибири: авторефер. дис. ... д.б.н. / Н.С. Москвитина. – Томск, 1999. – 70 с.
  69. Мотузова Г.В. Загрязнение почв и сопредельных сред / Г.В. Мотузова. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 71 с.
  70. Наркович (Швецова) Д.В. Элементный состав волос детей как индикатор природно-техногенной обстановки территории: авторефер. дис. ... к.г.-м.н. / Дина Владимировна Наркович (Швецова). – Томск, 2012. – 21 с.
  71. Небел Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир / Небел Б. пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – Т.1. – 424 с.
  72. Панин М.С. Химическая экология: Учебник для ВУЗов / М.С. Панин; под ред. С.Е. Кудайбергенова. – Семипалатинск: Семипалатинский гос. ун-т им. Шакарима, 2002. – 852 с.
  73. Перельман А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.
  74. Позолотина В.Н. Отдаленные последствия действия радиации на растения. / В.Н. Позолотина – Екатеринбург: Издательство «Академкнига», 2003. – 244 с.
  75. Попов П.А. Рыбы Сибири: распространение, экология, вылов / П.А. Попов. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007. – 525 с.
  76. Ревич Б.А. Окружающая среда и здоровье населения / Б.А. Ревич, С.Л. Авалиани, Г.И. Тихонова. – М.: Центр экологической политики, 2003. – 149 с.
  77. Рихванов Л.П. Исследование уровня и динамика накопления делящихся радионуклидов в годовых кольцах деревьев / Л.П. Рихванов, Т.А. Архангельская, В.Д. Несветайло // *Геохимия*, 2002. – №11. – С.1238–1245.
  78. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиозкологии / Л.П. Рихванов. – Томск: Издательство Томского политехнического Ин-та., 1997. – 384 с.
  79. 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.
  80. Рихванов Л.П. Исследование изменения геохимических свойств биосферы с использованием последовательно образующихся природных образований / Л.П. Рихванов,

- Т.А. Архангельская, Ю.Л. Замятина, А.М. Межибор и др. // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды: Материалы Всероссийской научной конференции (с участием иностранных ученых): в 3-х томах – Иркутск, 24–30 сент. 2007. – Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007. – Т.1. – С.223–227.
81. 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, 2008. – Т.2. – С.26–36.
  82. Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиозоологии: учебное пособие / Л.П. Рихванов. – Томск: СТУ, 2009. – 430 с.
  83. Садовникова Л.К. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении / Л.К. Садовникова, Д.С. Орлов, И.Н. Лозановская. – М.: Высшая школа, 2006. – 334 с.
  84. Сает Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
  85. Саенко Г.Н. Металлы и галогены в морских организмах / Г.Н. Саенко. – М.: Наука, 1992. – 200 с.
  86. Скальный А.В. Биосоленты в медицине / А.В. Скальный, И.А. Рудаков. – М.: «ОНИКС», 2004. – 272 с.
  87. Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней / В.Л. Сусликов. – М.: Гелиос АРВ, 2000. – 676 с.
  88. Ткалич С.М. Фитогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых / С.М. Ткалич. – Ленинград: Недра, 1970. – 175 с.
  89. Торопов А.В. Накопление техногенных радионуклидов компонентами экосистемы нижней Томи: автореф. дис. ... к.б.н. / А.В. Торопов. – Новосибирск, 2006. – 22 с.
  90. Уоррен Г.П. Геохимические методы поисков в Британской Колумбии / Г.П. Уоррен, Р.Б. Делава // Реф. Журнал, 1954. – №4. – С.3988.
  91. Фортезкью Дж. Геохимия окружающей среды / Дж. Фортезкью. – М.: Прогресс, 1985. – 360 с.
  92. Человек. Медико-биологические данные (Доклад рабочей группы комитета И МКРЗ по условному человеку). – М.: Медицина, 1977. – 496 с.
  93. Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды. / РАН, Сиб. отд-ние, Объед. ин-т геологии, геофизики и минералогии; науч. ред. чл.-кор. РАН Г.В. Поляков. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1996. – 248 с.
  94. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Ю.И. Сухих, Н.В. Барановская и др. – Томск: Изд-во Курсив, 2006. – 216 с.
  95. Эммануэль Н.М. Организм и физико-химические факторы окружающей среды / Н.М. Эммануэль // Город, природа, человек. – М.: Мысль, 1982. – С.164–180.
  96. Эмсли Дж. Элементы / Дж. Эмсли; пер. с англ. Е.А. Краснухиной. – М.: Мир, 1993. – 256 с.
  97. Язиков Е.Г. Оценка эколого-геохимического состояния территории г.Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв / Е.Г. Язиков, А.В. Таловская, Л.В. Жорняк. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 264 с.
  98. Яншин А.Л. Антропогенное рассеяние природно-концентрированных элементов в ландшафтах центральной части Европейской России / А.Л. Яншин, Ф.И. Тютюнова, Е.М. Грачевская // Глобальное изменение природной среды. – Новосибирск: Наука, 1998. – С.519–523.
  99. Anke M. Mengen- und Spurenelemente / M. Anke // 22 Workshop – Main Building of the Friedrich Schiller University, Jena, 2004. – 958 p.
  100. Baku S.B. Interlaboratory study of trace and other elements in the IAEA powdered human hair reference material HH – 1 / S.B. M, Baku, R.M.J. Parr // J. Radioanal. Chem., 1982. – Vol.69. – P.171–181.
  101. Burkser E. Versuche einer Bestimmung von Radiumelementen in Pflanzen III / E. Burkser, W. Kondoguri, W. Miglenska, K. Bronstein // Biochemische Zeitschrift, Bd. 233, Berlin, Springer – Verl., 1931. – P.58–61.
  102. Bunce N. Environmental Chemistry / N. Bunce. 2-d edition. – Canada: Winnipeg: Wuerz Publishing Ltd., 1994. – 670 p.
  103. Bockris J.O.M. Environmental Chemistry / J.O.M. Bockris. – New York: Plenum Press, 1977. – 765 p.
  104. Bolsunovsky A. Accumulation and release of <sup>241</sup>Am by a macrophyte of Yenisei River (Elodea Canadensis) / A. Bolsunovsky, T. Zotina, L. Bondareva // Journal of Environmental radioactivity, 2005. – Vol.81. – P.33–46.
  105. Bowen N.J.M. Trace elements in biochemistry / N.J.M. Bowen. – London – New York: Academic Press, 1966. – 241 p.
  106. Damiens M.A. Etude du systeme iode – tellurium / M. A. Damiens // Bull. Soc. Chim. Fr., 1921 – Vol.29. – P.512–528.
  107. Essentials of Medical geology. Impacts of the Natural Environment on Public Health / edited - in - Chief: Olle Selinus – Elsevier Academic Press, 2005 – 812 p.
  108. 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. – 151 p.
  109. Hoffman J. U in human thyroid gland and dog testicle and pancreas / J. Hoffman // Naturwissenschaften, 1942.– №30. – P.279–280.
  110. Ryabukhin Yu.S. Activation analysis of hair as an indicator of contamination of men by environmental trace element pollutants. – RL/50 / Yu.S. Ryabukhin. – Vienna: IAEA., 1978. – 134 p.
  111. Silbergeld E.K. The International Dimensions of Lead Exposure / E.K. Silbergeld // Int. Occupational Environmental Health, 1995. – Vol.1. – №4. – P.336.
  112. Underwood E.J. Trace elements in human and animal nutrition / E.J. Underwood. – N.Y. etc.: Acad. Press, 1977. – 245 p.
  113. Umweltmedizin: Grundlage der Umweltmedizin – klinische Umwelten – ökologische Medizin. – New York: Georg Thieme Verlag, 1999. – 740 p.
  114. Zo Bell C.E. Advances in Water Pollution Research. / Zo Bell C.E. – Oxford: Pergamon Press, 1964. – V.3. – 85 p.

## УЧЕНИЕ В.И. ВЕРНАДСКОГО О БИОСФЕРЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТОКСИКОЛОГИИ

В.С. Безель

Институт экологии растений и животных УрО РАН

### V.I. VERNADSKIY'S CONCEPT ON BIOSPHERE AND CONTEMPORARY PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY

V.S. Bezel'

Institute of Plant and Animal Ecology (Ural Branch of the Russian Science Academy)

**Abstract.** *The contemporary problems of environmental toxicology with the view of V.I. Vernadskiy's concept on Biosphere have been considered. The author presents the fundamental conclusions on method of natural system estimation of transorganism levels influenced by toxic effects.*

Учение В.И. Вернадского [3] о биосфере и живом веществе положило начало активному развитию широкого круга научных направлений, в центре которых находятся глобальные проблемы нашей планеты. Экологическая токсикология в то время не получила четкого оформления в качестве самостоятельного научного направления. Это понятно, поскольку при жизни В.И. Вернадского вопрос об изменении качества жизни человека в результате антропогенного воздействия на природную среду еще не воспринимался обществом в качестве острейшей проблемы современности [2]. Лишь начиная с середины прошлого века степень деградации природных систем, в том числе в результате их загрязнения токсическими веществами, достигла такого уровня, что стало угрозой для существования человека. С этого времени идеи В.И. Вернадского становятся особенно востребованными, в том числе при формировании нового научного направления – экологической токсикологии.

Еще в каменном веке человек столкнулся с ядовитым действием различных веществ растительного и животного происхождения. Наиболее ранним документом, свидетельствующим о знаниях наших предков о ядах, считают Эберский папирус, написанный примерно за 1500 лет до н.э. и содержащий сведения о некоторых ядах, широко известных и в наше время (например, мышьяк).

Первоначально сфера химического загрязнения включала ограниченные пространства бытовой и производственной деятельности человека. При этом под токсичностью понимали внутренне присущую химическому веществу способность оказывать вредное действие, которое проявляется только при взаимодействии вещества с живыми организмами [8].

Сегодня существует ясное представление о том, что все происходящее в природе (прежде всего в результате антропогенной деятельности) не может быть безразличным для человечества. Имеется в виду не человек – потребитель природы, а человечество как ее неотрывная часть. Критичным для его судьбы окажется не ограниченность ресурсов биосферы, а такие следствия развития цивилизации, как химическая деградация природной среды, изменение климата и, в целом, нарастающее экологическое неблагополучие.

При определении экологической токсикологии мы исходим из ясного понимания того, что Человек как биологический вид, и Человечество как социальное явление, в конечном счете, страдает не только от прямого неблагоприятного воздействия антропогенных факторов, но рано или поздно от вызываемых этими же факторами существенных, а то и необратимых нарушений состояния отдельных биогеоценозов и биосферы в целом. В свое время Н.В. Тимофеев-Ресовский [9] писал: «Наша основная задача – сохранить то состояние биосферы, которое существует на данный момент, потому что биосфера настолько сложная система, что нарушение границ ее устойчивости может привести к принципиально новому состоянию. Это состояние не обязательно будет худшим, но оно будет другим и пока не предсказуемым, а человек должен жить в предвидимом будущем».

Начало развития новой ветви науки – экологической токсикологии, положила книга шведской журналистки Рашель Карсон «Молчаливая весна», вышедшая в 1962 году, в которой автор описывает случаи массовой гибели птиц и рыб от бесконтрольного использования пестицидов. Автор делает вывод, что выявляемые эффекты влияния поллютантов на дикую природу предвещают надвигающуюся беду и для человека. С научной беспристрастностью и публицистической страстью журналистка предупреждала: «Химическую войну невозможно выиграть, вся жизнь попадает под ее жесткий перекрестный огонь». Эта книга по праву может считаться первой публикацией по экологической токсикологии.

Следует подчеркнуть, что природные объекты (живые организмы) длительное время оставались объектом изучения исключительно уровней накопления тяжелых металлов главным образом в растительности. Речь шла о методах индикации!!

Имеющиеся к настоящему времени сведения свидетельствуют, что загрязнение природной среды химическими веществами в процессе развития человеческого общества неизбежно. В этой связи простые данные об уровнях токсикантов, накапливаемых различными видами живых организмов в конкретном регионе или зоне выбросов конкретного производства, недостаточны. Эти данные чаще всего носят частный характер и представляют несо-

менный прикладной интерес лишь для административных органов.

Поэтому в последние 30–40 лет остро возникла проблема оценки не только уровней загрязнения, но и вызванное этим изменение состояния природных объектов, поскольку этим, в конечном счете, определяется благополучие человека. Первые исследования изменения состояния биоты вблизи источников выбросов были выполнены в конце XIX века [11–13]. Это были описания мертвых лесов и лунных ландшафтов в качестве наиболее ярких примеров негативных последствий деятельности человека. По мере развития промышленности масштабы таких изменений природной среды стали отмечать все чаще. Возникла необходимость научных обобщений наблюдаемых явлений.

Вероятно, впервые в самостоятельную науку экотоксикологию (ecotoxicology) выделял Рене Траут, который в 1969 году пытался связать воедино два научных направления: экологию и токсикологию.

Официальное определение экотоксикологии рекомендовано в 1978 Международным научным комитетом по проблемам окружающей среды (СКОПЕ): экологическая токсикология – это «междисциплинарное научное направление, связанное с изучением токсических эффектов действия химических веществ на живые организмы, преимущественно на популяции организмов и биоценозы, входящие в состав экосистем, изучающее источники поступления вредных веществ в окружающую среду, их распространение в окружающей среде, действие на живые организмы. Несомненно, что человек является наивысшей ступенью в ряду биологических мишеней». В данном определении следует особо подчеркнуть надорганизменный характер изучаемых экотоксикологических эффектов (популяционных, биогеоценологических).

С древних времен было очевидным, что уровень токсичности определяется дозой токсиканта. Еще Парацельс (1493–1541) утверждал, что «все вещества являются ядами, и не бывает вещества без ядовитости. Только доза определяет ядовитость». Это значит, что в основе подобных оценок должна лежать не просто разовая фиксация эффекта, а некоторая зависимость от увеличивающейся концентрации токсиканта, т.е. зависимость в виде «доза-эффект».

Если в качестве дозы логично принять уровень загрязнения природных объектов (иначе говоря, концентрации металлов в биологических объектах), то определение эффекта связано с существенными сложностями.

В медицинской токсикологии существуют детально разработанные показатели поражения (эффекта) в виде подробного перечня физиологических, функциональных, биохимических и иных показателей, отработанных в результате длительных экспериментов на модельных видах животных (лабораторные мыши, крысы, кролики и пр.). В результате сегодня мы располагаем значительным списком ПДК ядовитых веществ, отнесенных к человеку, т.е. с эффектами онтогенетического уровня.

Иначе обстоит дело при оценке поражения природных экосистем. В этом случае в качестве показателя эффекта поражения природных объектов должны применяться

иные показатели, отражающие состояние природных объектов, т.е. эффекты надорганизменного уровня (популяционного, биоценологического).

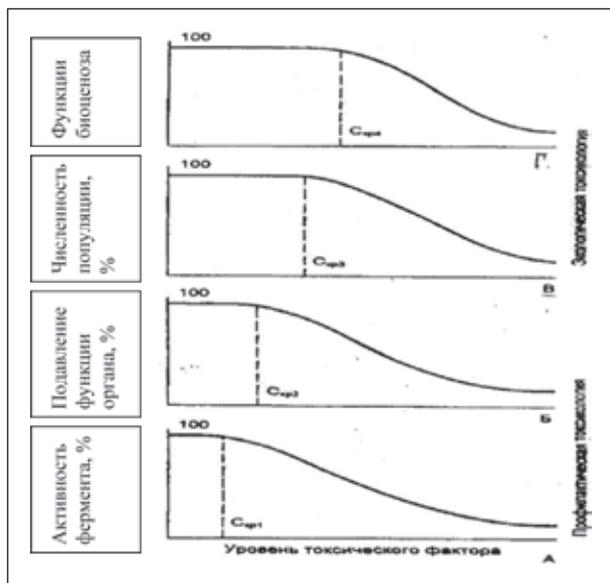
Стало очевидно, что предпринимаемые попытки свести регламентацию вредного воздействия на природную среду к действующим гигиеническим нормативам не адекватны реальным требованиям экологической регламентации даже в случае выбора наиболее жестких из них [6, 7].

Это понятно, поскольку современные медицинская гигиена и токсикология – это науки о сохранности здоровья человека. Экологическая токсикология решает ту же проблему с точки зрения возможности функционирования и стабильности природных систем надорганизменного уровня в условиях химического загрязнения среды.

В соответствии с уровнями организации можно выделить следующие эффекты их поражения биологических систем:

1. На молекулярно-генетическом уровне обеспечивается передача наследственной информации. На этом уровне под воздействием токсикантов возможно нарушение генетических структур соматических и половых клеток, что проявляется в виде доминантных и рецессивных мутаций.
2. При воздействии токсических факторов на клеточно-тканевом уровне происходит дифференциация токсического эффекта, проявляется специфичность накопления и ответной реакции различных тканей и органов.
3. На онтогенетическом уровне реализуются структурные и функциональные особенности организма. Экотоксикологические эффекты проявляются в виде различных постнатальных заболеваний, врожденных дефектов развития, в возможном летальном исходе.
4. На популяционно-видовом уровне изменения, возникающие на предшествующих уровнях, приводят к выработке новой адаптационной нормы. Возможно изменение пространственно-функциональной структуры популяции и, как следствие, к ее адаптации к токсическому фактору.
5. На биогеоценологическом уровне осуществляется вещественно-энергетический круговорот, формируемый в результате жизнедеятельности живых организмов. При токсическом загрязнении среды токсиканты вовлекаются в круговорот, что может привести к деформации естественных потоков вещества и энергии и, как следствие этого, деградации природной среды, часто выходящей за пределы зоны прямого токсического загрязнения.

В упрощенной ситуации в качестве дозы можно рассматривать концентрацию токсиканта в крови животных или иных живых объектов. Обозначим ее как уровень токсического фактора (рис. 1). При превышении некоторой критической концентрации Скр.1 будут отмечены признаки поражения системы молекулярного уровня (например, снижение активности какого-либо фермента, рис. 1А). При этом орган или ткань продолжают нормально функциони-



**Рис. 1.** Зависимость «доза-эффект» для нескольких уровней организации биологических систем (Скр1, Скр2, Скр3, Скр4 - критические уровни токсиканта)

рывать до достижения следующего критического значения Скр.2, при превышении которого будут отмечены признаки поражения функции этого органа или ткани (рис. 1Б). Дальнейшее увеличение концентрации в крови может привести к гибели особи. Естественно, что сразу погибнут не все особи, наиболее резистентные из них выживут, но численность популяции будет снижаться по мере увеличения концентрации токсиканта в крови животных. При этом критическое значение Скр.3 будет означать начало снижения численности такой популяции (популяционный уровень эффектов, рис. 1В). Аналогичным образом уменьшение количества популяций в сообществе будет определяться при дальнейшем превышении уровня токсиканта выше Скр.4 (рис. 1Г), т.е. будут проявляться эффекты биоценотического уровня.

Рассмотренная, предельно упрощенная схема позволяет говорить о нескольких уровнях адаптации природных систем к влиянию химических факторов среды:

1. Приспособительные реакции в организмах, выраженные в разнообразной коррекции отдельных биохимических, физиологических, функциональных и иных процессов молекулярно-генетического, клеточно-тканевого и онтогенетического уровня. Подобные проявления адаптации подробно изучаются в рамках медицинской токсикологии.
2. Адаптивные реакции надорганизменного характера, типичные для природных популяций, подверженных длительному влиянию неблагоприятных факторов. В этом случае имеется в виду поддержание популяцией некоторого нормального уровня ее функционирования за счет наличия доли толерантных особей, их фертильности, изменения плодовитости и т.д. При этом не исключается повышенная гибель отдельных особей, если остаются неизменными основные параметры популяций, прежде всего их

продуктивность. По мнению Брагинского Л.П. [1], «если для отдельного организма смерть означает страшнейшее и последнее поражение в борьбе за существование, то для популяции массовая смертность – всего лишь отсев менее приспособленных особей и некоторая реорганизация». В публикации №26 МКРЗ (1978) отмечено: «В качестве международных нормативов принят такой уровень радиации, который необходим для защиты человека, достаточен для защиты других живых существ, хотя и не обязательно отдельных особей».

Таким образом, в основе популяционной адаптации лежит структурная и функциональная сложность природных систем, состоящих из отдельных функциональных блоков. Еще в 1926 году Четвериков С.С. писал: «Природные популяции любого вида генетически и функционально гетерогенны...» [10]. Подобная изменчивость проявляется в изменчивости морфологических признаков, летальных эффектов, плодовитости, жизнеспособности особей и других признаков. Реакция генетически гетерогенных природных популяций на стрессирующие факторы среды выражаются в изменении распределения популяционных параметров» [5]. Все это в предположении, что значения частот и амплитуд всех изменений не выходят за рамки популяционной нормы реакции, т.е. не являются еще эволюционно закрепленными.

3. Адаптивные реакции биоценотического уровня, выражаются в смене видового состава и продуктивности биоценозов за счет элиминации из сообщества видов, наиболее чувствительных к конкретным неблагоприятным факторам среды, закрепления видов толерантных. При этом систематическая и биоэкологическая структура вновь сформированных сообществ, а также их общая продуктивность позволяет им устойчиво функционировать в течение длительного периода времени.

В качестве показателей, определяющих устойчивое функционирование биоценоза в условиях его химического загрязнения можно рассматривать:

Видовое разнообразие. Предполагается, что возможное изменение видового состава может повлиять на устойчивое функционирование биоценоза.

Продуктивность биоценоза. Для биосферы в целом и человека важно сохранение общей продуктивности природных биоценозов. При этом не безразлично поддерживается ли его продуктивность за счет многовидового сообщества, либо только за счет сохранившихся наиболее резистентных к конкретному загрязнителю видов (например, за счет сорных видов растительности).

Уровень биогенного обмена вещества, энергии и информации внутри и по отношению к смежным биогеоценозам. Согласно В.И. Вернадского, наличие подобного обмена и его высокий уровень является необходимым условием стабильного функционирования биоценоза и биосферы в целом.

Необходимо иметь в виду, что современное интенсивное химическое загрязнение для природных экосистем

является эволюционно новым фактором. В этих условиях ответ природных систем не может выходить за рамки закрепленных в процессе эволюции «традиционных» для них механизмов реагирования на стрессовые ситуации. Это обстоятельство особо важно, если стоит проблема диагностики эффектов поражения на фоне возможной смены природно-климатических условий.

Учитывая это, следует сделать ряд методических замечаний, с нашей точки зрения, важных для адекватной оценки состояния природных систем надорганизменного уровня, подверженных токсическому воздействию.

1. Возможна переоценка типичности результатов конкретной экотоксикологической ситуации, если выводы без достаточных оснований переносятся на другие условия. Считается, что загрязнение является однотипно действующим фактором, не учитываются иные источники выбросов, геофизические и климатические условия, а также важнейшие экологические факторы (рН почвы, содержание гумуса и пр.пр.).
2. Переоценка очевидности причинно-следственных связей при изучении токсических эффектов. Например, дефолиация древесных видов может быть вызвана как выбросами окислов серы, так и рядом биотических факторов (подтопление, тополияная моль и др.). В этой связи Е.Л. Воробейчик сформулировал «принцип презумпции естественности» [4], согласно которому любые изменения в биоценозах следует трактовать как имеющие естественные причины, пока не доказана их токсическая обусловленность.
3. Градиентная природа большинства исследованных вариантов облегчает задачу выбора участков ис-

следования, ранжируя участки по уровням загрязнения. Принцип полноты градиента заключается в выборе максимальной разницы между уровнями загрязнения исследуемых участков среды. При этом желательнее максимально исключить возможность действия иных факторов (рекреация или иное).

Интеграция различных направлений наук о биосфере в настоящее время закономерно исходит из основных положений учения В.И. Вернадского о биосфере и живом веществе. Экологическая токсикология в качестве науки о реакции биологических систем надорганизменного уровня на химическое загрязнение среды не является исключением.

Отметим, что трудности, связанные с формированием экологической токсикологии в качестве самостоятельного научного направления, – объективны. Они обусловлены тем, что биологические системы надорганизменного уровня представляют собой сообщество многих взаимосвязанных компонент от почвенных микробных сообществ до популяций крупных животных и высших растений, обладающих различной резистентностью к конкретным токсическим воздействиям. При этом решающее значение имеет состояние окружающей среды, включая ее геофизические и погодно-климатические параметры. Описание реакции такой сложной системы на химический стресс требует, прежде всего, фундаментальных знаний о ее функционировании и стабильности при обычных, не подверженных антропогенному влиянию условиях.

Статья отражает результаты, полученные при поддержке РФФИ (проект 13-04-96037), Программы Научных школ (контракт НШ-5325.2012.4), Президиума УрО РАН (проект №12-И-4-2051).

## Литература

1. Брагинский Л.П. Теоретические аспекты проблемы «норма-патология» в водной токсикологии // Теоретические вопросы водной токсикологии. – Л.: 1981. – С.29–40.
2. Безель В.С. Экологическая токсикология в системе наук о биосфере // Биосфера, 2012. – Т.4. – №2. – С.131–139.
3. Вернадский В.И. Живое вещество. – М.: Наука, 1978. – 358 с.
4. Воробейчик Е.Л., Козлов М.В. Воздействие точечных источников эмиссии поллютантов на наземные экосистемы: методология исследований, экспериментальные схемы, распространенные ошибки // Экология, 2012. – №2. – С.83–91.
5. Глотов Н.В., Тараканов В.В. Норма реакции генотипа и взаимодействие генотип-среда в природной популяции // Журн. Общ. биол., 1985. – Т.56. – №6. – С.760–770.
6. Кацнельсон Б.А., Безель В.С. О путях интеграции гигиенического и экологического нормирования (по поводу статьи М.Г. Шандалы и соавторов) // Гиг. и сан., 1994. – №2. – С.56–58.
7. Кацнельсон Б.А., Безель В.С. Гигиенические идеи Н.В. Лазарева и современные проблемы взаимодействия человека и биосферы // Гиг. и сан., 1995. – №25. – С.14–17.
8. Общая токсикология / под ред. Б.Ф. Курляндского, В.А. Филова. – М.: Медицина, 2002. – 608 с.
9. Тимофеев-Ресовский Н.В. Биосфера и человечество / Научн. Труды Обнинского отд. географич. общества СССР. – Обнинск, 1968. – Сб.1. – Ч.1. – С.3–12.
10. Четвериков С.С. О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики // Журн. эксперим. биол., 1926. – Сер.А. – Т.2. – №4. – С.3–54.
11. Haselhoff E., Lindau G. Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Handbuch zur Erkennung und Beurteilung von Rauchschaden. – Leipzig: Gebrüder Borntraeger, 1903. – 412 p.
12. Holland R. Air pollution as affecting plant life // Manchester and Salford Noxious Vapours Abatement Association Lectures on Air Pollution. – Manchester, 1888. – P.111–125.
13. Stoklasa J. Die Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase und Fabriksexhalationen. – Berlin, Vienna: Urban und Schwarzenberg, 1923. – Т.ХХIV. – 487 p.

## ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИ ТИРЕОИДНЫХ ПАТОЛОГИЯХ

О.А. Денисова<sup>1</sup>, Н.В. Барановская<sup>2</sup>, Г.Э. Черногорюк<sup>3</sup>, Л.П. Рихванов<sup>2</sup>, Е.В. Калянов<sup>3</sup>, К.К. Егорова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ОГАУЗ «Томская областная клиническая больница», Томск, Россия, [oadeni@yandex.ru](mailto:oadeni@yandex.ru)

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, Томск, Россия, [natalya.baranovs@mail.ru](mailto:natalya.baranovs@mail.ru)

<sup>3</sup>Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия, [chernogoryuk@yandex.ru](mailto:chernogoryuk@yandex.ru)

### Chemical elements in thyroid pathologies

O.A. Denisova<sup>1</sup>, N.V. Baranovskaya<sup>2</sup>, G.E. Chernogoryuk<sup>3</sup>, L.P. Rikhvanov<sup>2</sup>, E.V. Kalyanov<sup>3</sup>, K.K. Egorova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tomsk Regional Clinical Hospital, Tomsk, Russia, [oadeni@yandex.ru](mailto:oadeni@yandex.ru)

<sup>2</sup>Tomsky Polytechnic University, Tomsk, Russia, [natalya.baranovs@mail.ru](mailto:natalya.baranovs@mail.ru)

<sup>3</sup>Siberian State Medical University, Tomsk, Russia, [chernogoryuk@yandex.ru](mailto:chernogoryuk@yandex.ru)

**Abstract.** *The research material is a database of the Tomsk regional about 18 500 patients with various diseases of a thyroid gland. We analyzed contents of 24 elements (Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Br, Rb, Ag, Sb, Au, La, Th, U, Hf, Se, Hg, Ce, Sm, Eu, Yb, and Lu) in thyroid tissue by the analysis of neutron activation.*

*The region zoning of the territory has been made according to the level of morbidity. The thyroid pathology in Tomsk region has no clear associations with iodine level in environments. We revealed that development of the thyroid gland pathology depend on ecological and geochemical factors (a close locating to industrial net of Tomsk, cold climate).*

*We have identified a deficiency of selenium in thyroid cancer ( $1,49 \pm 0,16$  mg/kg) where the concentration is significantly lower compared to the control ( $2,8 \pm 0,27$  mg/kg) and nodular goiter ( $1,69 \pm 0,14$  mg/kg) ( $p=0,03$ ). Selenium deficiency in pathological thyroid tissue occurs with increased accumulation of sodium, iron, bromine, rubidium, samarium, mercury, low calcium. Correlation analysis revealed positive relationships between the elements Co, Cr, Fe, Zn, Sc ( $r$  0,2–0,6;  $p < 0,01$ ; Sm, Au, La, Ca, Sb, U ( $r$  0,3–0,5;  $p < 0,05$ –0,01), Na and Rb ( $r=+0,5$ ;  $p < 0,01$ ); negative relation with Ca Na, Rb, Br ( $r$  0,3–0,5,  $p < 0,01$ ). The association of chemical elements can be explained by a common source of income (enterprise of the nuclear fuel cycle, petroleum industry).*

*Features of trace element composition in the thyroid gland primarily reflect the impact of technogenic factors. The mechanism may be associated with imbalances of trace elements. Deficiency of iodine and selenium leads to the accumulation of non-essential elements of thyroid tissue, which may contribute to autoimmune processes and the formation of goiter.*

Деятельность щитовидной железы непосредственно связана с йодом – основным компонентом гормонов, вырабатываемым данной железой. Самый глобальный и хорошо изученный микроэлементоз человека – это зобная эндемия, связанная с недостатком йода в окружающей среде. [3] Исследователи этой проблемы часто сталкиваются с несоответствием уровня дефицита йода и распространения заболеваемости [4].

Этот факт побудил нас исследовать пространственную локализацию повышенного уровня заболеваемости тиреопатиями в Томской области, выявление неблагоприятных зон. Вторым этапом работы было – изучение закономерностей накопления элементов в ткани нормальной щитовидной железе и при патологии, оценка возможных источников их поступления в организм человека на территории Томской области.

### Материал исследования

Для изучения заболеваемости населения Томской области тиреоидной патологией проанализирована представленная Томским областным эндокринологическим диспансером (ТОЭД) база данных о больных с тиреоидной патологией, находившихся на учете с 2001 по 2005 годы, включающая в себя 18 500 больных. Были выделены следующие нозологии: (диффузный нетоксический зоб, узловой зоб, хронический аутоиммунный тиреоидит, диффузный токсический зоб, злокачественные новообразования

щитовидной железы, приобретенный гипотиреоз, прочие заболевания), проведено биогеохимическое районирование территории Томской области на основании работ Л.П. Рихванова [5, 6].

Определение химических элементов (Na, Ca, Fe, Zn, Br, Rb, Ag, Sb, Au, La, Th, U, Hf, Se, Hg, Sm, Lu, Yb, Ce, Sc, Eu) проводилось во фрагментах щитовидной железы, представляющих собой послеоперационный материал, пациенты были из разных населенных пунктов Томской области (103 фрагмента). По гистологическим заключениям материал распределился следующим образом: узловой коллоидный зоб (УКЗ),  $n=41$ ; аутоиммунный тиреоидит,  $n=18$ ; рак,  $n=8$ ; доброкачественные аденомы,  $n=30$ . Для контроля использовался трупный материал, взятый у жителей Томской области, погибших от случайных причин, щитовидная железа которых была нормального объема и нормальной структуры (11 желез).

Для определения содержания химических элементов в ткани щитовидной железы после пробоподготовки использовался инструментальный нейтронно-активационный (ИНАА) на базе исследовательского ядерного реактора ТПУ в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета. Измерения производились на гамма-спектрометре с германий-литиевым детектором. Обработка полученных результатов проводилась непараметрическими методами. Критерий U Манна – Уитни

использовали для сравнения независимых выборок, при изучении связи признаков проводили расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Критический уровень значимости принимали равным 0,05.

### Результаты исследования

Корреляционный анализ между заболеваниями щитовидной железы и содержанием йода в почвах и растениях 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. Это отражается на распространенности патологии, повышенной заболеваемости на территориях, подверженных большей химической нагрузке. В пределах Томской области по эколого-промышленным и климато-географическим характеристикам можно выделить три группы районов. Уровень заболеваемости оказался выше в южной зоне, находящиеся под влиянием СПУ (Северного промышленного узла), где наблюдается максимальное воздействие факторов химической природы. Промежуточное значение уровня патологии оказалось в северных районах, испытывающих на себе влияние жестких климатических условий, нефтедобычи, трансграничного переноса тяжелых элементов по р. Обь. В южных аграрных районах заболеваемость была минимальной.

Показательны данные, характеризующие заболеваемость в Томском районе, окружающем город, где населенные пункты находятся на равном расстоянии от Томска, а значит, нивелируется фактор «расстояния» от города и возможных различий в уровне патологии связанных с ним. Проведенные нами исследования показали, что пространственная локализация повышенного уровня заболеваемости тиреопатиями в Томском районе представляет собой однородную зону, включающую г. Томск, вытянутую в северо-восточном направлении согласно розе ветров [1, 5]. Здесь сосредоточены основные промышленные предприятия области и имеют место природные и техногенные геохимические аномалии.

В последующем при изучении саркоидоза, были найдены корреляции между узловым зобом и тяжелыми формами саркоидоза ( $r=0,65$ ;  $p<0,05$ ); общей заболеваемостью саркоидозом и аутоиммунным тиреоидитом ( $r=0,6$ ;  $p<0,05$ ). По нашему мнению, данную связь можно объяснить общими механизмами воздействия, что доказывает влияние экогеохимических особенностей на организм человека [10].

Для биосубстратов человека характерна относительная стабильность химического состава, являющаяся следствием действия гомеостатических механизмов и, в известной степени, условий существования человека. Любое отклонение от нормы служит показателем изменений

окружающей среды, и, в свою очередь, может вызывать у человека различные виды патологии.

Анализ элементного состава щитовидной железы показал, что в щитовидной железе фиксируются почти все, изученные нами, химические элементы, в том числе неэссенциальные. Их распространенность подчиняется основным геохимическим законам Кларка и законом Оддо-Гаркинса. Тенденция убывания распространенности элементов с увеличением их порядкового номера, закономерности, отмеченной еще Д.И. Менделеевым, достаточно четко просматривается для химических элементов в ткани щитовидной железы. Данный орган практически не накапливают редкие, редкоземельные и радиоактивные элементы Lu, Yb, Hf, Ce, Th, Sc, Au, U, хотя при патологии отдельные пики элементов встречаются. В тоже время она является органом-концентратором селена, кобальта, цинка, лантана и самария, и органом-носителем остальных микроэлементов [1].

Статистические параметры демонстрируют картину неравномерного распределения ряда элементов в щитовидной железе. Анализ гистограмм показывает, что близкое к нормальному можно считать только распределение лантана. По критерию Колмогорова-Смирнова распределение остальных элементов близко к логнормальному закону, элементы имеют дополнительные один или несколько пиков концентраций. Это явление, скорее всего, говорит об элементе-загрязнителе в данных конкретных случаях. Бимодальный характер свидетельствует о наличии возможной накладки двух факторов различной природы.

Была определенная сложность в сопоставлении наших результатов с литературными данными, т.к. большинство доступных нам исследований было проведено другими аналитическими методами. Полученные нами данные ближе к результатам, найденным методом ИНАА [12] для Калужской области. Щитовидная железа жителей Томской области отличается повышенным содержанием скандия, цинка, ртути, селена; пониженным рубидия, кобальта, серебра.

При корреляционном анализе выявлены высокодостоверные положительные слабые и средней степени связи между элементами Co, Cr, Fe, Zn, Sc ( $r$  0,2–0,6;  $p<0,01$ ). К элементам этой группы находится в отрицательной связи Se. Также можно выделить ассоциацию следующих элементов: Sm, Au, La, Ca, Sb, U ( $r$  0,3–0,5;  $p<0,05$ –0,01). Имеются отрицательные связи Ca с Na, Rb, Br ( $r$  0,3–0,5;  $p<0,01$ ), причем между Na и Rb ( $r=+0,5$ ;  $p<0,01$ ). Разделение микроэлементов в разные группы при корреляционном анализе свидетельствует как об особенностях химических свойств элементов, так и о возможном однотипном источнике поступления этих элементов в окружающую среду и далее в организм человека.

Аналогичные ассоциации отмечаются при изучении элементного состава крови и волос жителей Томской области [6]. Для волос характерна ассоциация: Co, Sc, Cr, Zn, Fe, а также La, Br, Na, для крови: Co-Ce, B-Na, Zn-La-Cr-Sc.

Ассоциация натрия и рубидия объясняется химической схожестью последнего с натрием, способностью проникать через натриевые каналы транспорта. Связь лантана

с кальцием, ассоциации хрома, железа, кобальта также можно интерпретировать, как способность лантаноидов и ионов переходных элементов конкурировать друг с другом в различных биохимических процессах.

Наличие ассоциации хрома, железа, кобальта, а также скандия, хрома, самария, гафния, золота говорит об идентичности источников поступления этих элементов в окружающую среду и организм человека. Связь между сурьмой и серебром, церием и бромом, учитывая небольшой процент проб, содержащих данные химические элементы, объясняется также общим источником поступления.

Лантан входит в ассоциацию элементов, источником которых являются преимущественно предприятия г. Томска, возможно ТЭЦ и ГРЭС, а также предприятия машиностроения и другие. Кобальт, церий, бром, натрий и сурьма – элементы, источником которых являются предприятия Северного промышленного узла. Вторая группа ассоциаций химических элементов (Sm, La, Br, U, Sc) указывает, что, возможно, их источником является предприятия ядерно-топливного цикла и нефтеперерабатывающей промышленности. Поступление этих элементов в окружающую среду может осуществляться в результате функционирования ряда источников, располагающихся как на местном уровне, так и на прилегающих территориях. Среди локальных источников возможного поступления перечисленных металлов могут быть ТЭЦ и ГРЭС города Томска и Северска, работающие на угле, предприятия нефте-газоперерабатывающего и ядерно-топливного цикла, а также другие некоторые промышленные предприятия г. Томска [6, 7].

Все без исключения эссенциальные элементы помимо выполнения важной физиологической роли могут представлять собой неблагоприятный фактор, если их концентрация существенно выше средних. В этих случаях они выступают в роли элемента-загрязнителя. Например, для хрома характерна неравномерность концентраций в ткани щитовидной железы: 55% проб имеют уровень данного микроэлемента ниже порогового, 25% избыточную концентрацию, но в ткани патологически измененной железы среднее содержание хрома выше, чем в контроле. По нашим данным, ряд неэссенциальных элементов выступает как выраженные патогенные агенты. Совокупность подобных признаков выявлена для самария, брома, ртути, рубидия, сурьмы. Нужно сказать, что связи между многими неэссенциальными элементами и гормональными щитовидной железы определяются достаточно редко и в отдельных патологических группах. Только для рубидия характерна отчетливая связь с антителами к микросомальной фракции по всей базе, что хорошо перекликается с данными литературы о его участии в аутоиммунных процессах. Возможно, что они оказывают неспецифическое токсическое действие и не действуют непосредственно на гормональный синтез. По многим элементам в нашем исследовании нет уверенных данных об их влиянии на развитие патологии щитовидной железы. При этом, следует иметь в виду, что может иметь место синергизм их действия.

Можно предположить, что одним из механизмов неблагоприятного действия некоторых микроэлементов может

быть взаимодействие их с селеном. Наше исследование подтвердило многочисленные литературные данные о протективной роли селена в развитии патологии щитовидной железы [8, 11]. Все группы патологических форм достоверно отличались от контроля пониженной концентрацией изучаемого микроэлемента. Самым низким было содержание селена в железе, пораженной раковой опухолью ( $1,49 \pm 0,16$  мг/кг), где его концентрация достоверно ниже не только по сравнению с контролем ( $2,8 \pm 0,27$  мг/кг), но и с группой УКЗ ( $1,69 \pm 0,14$  мг/кг) ( $p=0,03$ ). Ранее мы показали, что дефицит селена в ткани патологически-измененной щитовидной железы возникает на фоне повышенного накопления натрия, железа, брома, рубидия, самария, ртути, пониженного содержанием кальция [1, 9].

В возрасте риска по развитию тиреоидной патологии (41–55 лет) наблюдается углубление его недостаточности на фоне избытка многих других микроэлементов.

Отрицательные связи концентрации селена с концентрацией брома, кобальта, хрома, ртути, сурьмы, тория в щитовидной железе можно трактовать двояко. Либо селен выступает как антагонист по отношению к указанным микроэлементам, либо эти микроэлементы его замещают. Возможно, что через механизм вытеснения селена реализуется известная негативная роль некоторых элементов по отношению к щитовидной железе [9]. В частности, соединения брома, ртути, кобальта.

В группах контроля УКЗ и доброкачественных аденом отрицательные ассоциации наблюдаются чаще, чем при аутоиммунном тиреоидите и раке, то есть в этих случаях возможно защитная роль селена проявляется в большей степени. Кроме того, имеются положительные ассоциации Se: при аденомах с Sc, при раке с Fe, Na, Rb и Hf, при аутоиммунном тиреоидите с Sb, Rb, Th, Au. В отношении ртути такие положительные ассоциации найдены в группе контроля и УКЗ. Некоторые авторы [9] предполагают, что при высоких концентрациях ртути, молярные массы ее и селена приближаются к 1:1 с формированием биологически инертных веществ, что может закончиться относительным дефицитом Se. Возможно, что подобный механизм нейтрализации действует в отношении вышеперечисленных химических элементов, с которыми селен проявил положительные ассоциации.

Таким образом, для многих неэссенциальных элементов, включая урана, торий, церий, гафний и скандий гистогематический барьер щитовидной железы представляет, по-видимому, сложно проходимую преграду, но при высоких концентрациях последних во внешней среде возможны и их накопления и негативное влияние на данный орган.

Данные нашего исследования убедительно свидетельствуют о значительном вкладе в развитии заболеваний щитовидной железы в Томской области эколого-геохимических факторов. Имеются параллели между дисбалансом изученных макро и микроэлементов в составе щитовидной железы при патологии и геохимическими особенностями региона. Можно сказать, что особенности микроэлементного состава отражают преимущественное влияние техногенных факторов. Механизм изменений может быть связан с

микроэлементным дисбалансом: на фоне дефицита йода и селена происходит накопление неэссенциальных элемен-

тов в ткани щитовидной железы, что, возможно, способствует аутоиммунным процессам и формированию зоба.

### Литература

1. Денисова О.А. Проблема патологии щитовидной железы с позиций геоэкологии и геохимии / Денисова О.А., Барановская Н.В., Рихванов Л.П., Черногорюк Г.Э., Калянов Е.В. // Медицинская геология: состояние и перспективы. – М.: «Издательство ГЕОС», 2010. – С.99–109.
2. Денисова О.А., Барановская Н.В., Рихванов Л.П., Сухих Ю.И., Черногорюк Г.Э. Микроэлементы и патология щитовидной железы в Томской области. – Томск: СТТ, 2011. – 190 с.
3. Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь / В.В. Ковальский. – М.: изд-во «Наука», 1982. – 76 с.
4. Онищенко, Г.Г. Профилактика зубной эндемии на территориях с сочетанным воздействием химических факторов технологического и природного генеза / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, М.А. Землянова // Гигиена и санитария, 2004. – №12. – С.12–16.
5. Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Сухих Ю.И., Барановская Н.В., Волков В.Т., Волкова Н.Н., Архангельский В.В., Архангельская Т.А., Денисова О.А., Шатилов А.Ю., Янкович Е.П. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения. – Томск: Курсив, 2006. – 216 с.
6. Рихванов Л.П. Состояние компонентов природной среды Томской области по данным эколого – геохимического мониторинга и здоровье населения. // Безопасность жизнедеятельности, 2008. – №1(85). – С.29–37.
7. Шатилов А.Ю. Особенности пылеаэрозольных выпадений в зоне влияния Сибирского химического комбината // Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства. Гидрогеология и инженерная геология. Геоэкология и мониторинг геологической среды : матер. научно-практ. конф. – Томск : изд-во ТПУ, 2001. – С.206–210.
8. Brauer V.F. Selenium and goiter prevalence in borderline iodine sufficiency / Eur. J. Endocrinol, 2006. – Vol.155. – №12. – P.805–812.
9. Denisova O. Iodine: Trace Elements and Diseases of the Thyroid Gland in the Population in Tomsk Region Denisova O., Baranovskaya N., Rikhvanov L., Chernogoryuk G. // Medical geology. A Regional synthesis. – Stockholm: IUGS, 2010. – P.233–237.
10. Denisova O. Geochemical factors and incidence of sarcoidosis in Tomsk Region / Denisova O., Chernogoryuk G., Egorova K., Baranovskaya N., Rikhvanov L. // European Respiratory Journal, Abstracts, 22<sup>nd</sup> Annual Congress, Vienna, Austria September 1–5, 2012. – P.743.
11. Drasch G. Content of non-mercury-associated selenium in human tissues // Biol. Trace Elem. Res., 2000. – Vol.77. – №3. – P. 219–230.
12. Zaichick V.Ye. Trace Elements and Thyroid Cancer // Analyst., 1995. – Vol.120. – №3. – P.817–821.

## МИКРОЭЛЕМЕНТОЗЫ: ЛОКАЛЬНЫЕ И ГЛОБАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

В.В. Ермаков

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
119991 Москва, ул. Косыгина, 19, [ermakov@geokhi.ru](mailto:ermakov@geokhi.ru)

### MICROELEMENTHOSES: LOCAL AND GLOBAL ASPECTS

V.V. Ermakov

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, V.I. Vernadsky, 119991, ul. Kosygin, 19, [ermakov@geokhi.ru](mailto:ermakov@geokhi.ru)

**Abstract.** The concept of “Microelementhoses” as the development of the biogeochemical ideas by V.I. Vernadsky and as a consequence of the doctrine of trace elements is presented. The problems of genesis of biogeochemical endemics and the local endemic diseases are discussed. It was considered the practical aspects of the genesis of complex hypo- and hyper-microelementhoses, their diagnosis and correction. To detect and prevent the microelementhoses there are the most acceptable systems approach, including an assessment of the status of trace elements in the environment, feed and animal organism with subsequent biogeochemical transformation biogeochemicals. The role of anthropogenic factors in the transformation of living matter and in the genesis of microelementhoses, the need of development of the government programs are discussed too.

### Введение

Идеи о глобальной геологической роли живого вещества, формировании среды жизни, единстве жизни и геохимической среды всегда привлекали исследователей, как в прошлые эпохи, так и в современный период развития цивилизации. В 1812 г. в работе «Рассуждения о переворотах на поверхности земного шара» французский зоолог Ж. Кювье связал эволюцию животного мира Земли с геологическими катастрофами [50]. Основными катастрофи-

ческими явлениями, которые вызывали смену фаун в разновозрастные геологические периоды, Ж. Кювье считал смену морских и континентальных условий, т.е. изменения экологической ситуации среды обитания. Таким образом, Ж. Кювье, ввел в науку понятие об экологических катастрофах и выполнил первые биосферные экологические исследования [50]. Связь эволюции организмов с трапповым магматизмом, современным вулканизмом и космическими процессами продолжает интриговать ученых [39].

Развивая экологическую направленность идей натуралистов Европы XVIII века, В.И. Вернадский в 30-х гг. прошлого столетия разработал научную биогеохимическую концепцию биосферы, как геологической оболочки Земли, структура и энергетика которой созданы деятельностью живого вещества в течение геологической истории планеты [7].

Систематическое изучение особенностей элементного состава организмов привело В.И. Вернадского и сотрудников созданной им Биогеохимической лаборатории к необходимости оценки биологической роли химических элементов.

Особую роль в этом направлении сыграла активность А.П. Виноградова [8] и В.В. Ковальского [25, 26] по изучению биогеохимических провинций, что повлияло в последующем на становление экологии, медицинской географии и геомедицины в целом.

Данная статья посвящена формированию и развитию сравнительно новой концепции «микроэлементозов», связанной с практическими аспектами биогеохимии, профилактической медицины, животноводства и растениеводства.

#### **Биогеохимические провинции и микроэлементозы**

Биологическое значение отдельных макро- и микроэлементов в патогенезе ряда заболеваний, распространение которых было локализовано на уровне таксонов биосферы (регион, субрегион, биогеохимические провинции), было установлено в 30–40-х гг. прошлого столетия. Существенную роль сыграла концепция биогеохимических провинций, разработанная А.П. Виноградовым. Последние, по его определению, представляют собой «области на Земле, отличающиеся от соседних областей по уровню содержания в них химических элементов и вследствие этого вызывающие различную биологическую реакцию со стороны местной флоры и фауны» [8]. В крайних случаях, в результате резкой недостаточности или избыточности содержания какого-либо химического элемента (или элементов), в пределах данных биогеохимических провинций возникают биогеохимические эндемии, заболевания растений и животных. Ученый подчеркивал тесную связь биогеохимических провинций с геохимическими факторами и различие территорий по уровню нескольких химических элементов в среде (почвах, воде, воздухе), а реакция флоры и фауны названа характерной.

Следует также обратить внимание на понятие «линеаменты». Выделение глобальных (межконтинентальных) биогеохимических провинций – (линеаменты) предложил А.Л. Ковалевский [24а]. Они контролируются геологическим строением соответствующих территорий и охватывают целые страны и большие части континентов. Примером являются селен- и йод-дефицитные биогеохимические провинции неправильной формы и линеаменты – протяженные линейные структуры. Территории с избытком химических элементов в биосфере занимают меньшие площади, чем с дефицитом (например, наличие глобальных ртутьизбыточных линеаментов, связанных с известными

ртутными поясами Земли).

Наиболее рельефно связь между организмами и средой отражена в геохимической экологии, сформированной В.В. Ковальским [25, 26]. В данном случае геохимическая экология рассматривается как взаимодействие между организмами и средой через поток атомов химических элементов и их соединений (сочетаний). Последние, поступая в организм через биогеохимические пищевые цепи, выполняют различные функции в организме, частично трансформируются в процессе метаболизма, аккумулируются тканями или выводятся с экскрементами и выдыхаемым воздухом. При этом существенная роль принадлежит биологической роли макро- и микроэлементов.

Активное изучение биологической роли микроэлементов, их распространения в среде, продуктах питания, кормах, организме человека, животных и растений в 60–70-х гг. прошлого столетия сопровождалось накоплением огромного фактического материала, который требовал обобщения. Одной из таких попыток была систематизация, предложенная группой ученых из Института морфологии АМН. Так, в 1983 г. академик А.П. Авцын писал: «С учетом достижений современной науки настало время предложить объединяющее название для всех патологических процессов, вызванных дефицитом, избытком и дисбалансом МЭ в организме. Таким названием, по нашему мнению, является термин «микроэлементозы» [1, 2, 21].

На основании обширных исследований в области геохимической экологии человека и животных стало возможным выделение микроэлементозов в особую группу заболеваний, связанных с природными эндогенными, природными экзогенными и техногенными факторами. Общепризнано выделение заболеваний, характеризующихся микроэлементной недостаточностью (гипомикроэлементозы) и избытком (гипермикроэлементозы). Последние наиболее часто диагностируются у сельскохозяйственных животных в результате избыточного их введения в рацион и отдельные корма [20, 29, 36, 40, 42, 48, 54].

Таким образом, понятие «Микроэлементозы» возникло в результате эволюции наших знаний о существенной роли микроэлементов в жизнедеятельности организмов в рамках биогеохимии – учения о микроэлементах – геохимической экологии – биохимии и физиологии микроэлементов – медицинской географии – бионеорганической химии и элементологии. При этом проявление микроэлементозов животных и человека связано с нарушением всасывания, метаболизма и статуса микроэлементов в среде.

#### **Микроэлементы**

Несмотря на современные попытки классификации химических элементов, мы придерживаемся количественной характеристики, данной В.И. Вернадским [7] и затем – А.П. Виноградовым [8]: макроэлементы, микроэлементы и ультрамикроэлементы. По функциональному признаку химические элементы могут быть необходимыми, полезными и пассивными на современном этапе эволюции биосферы и оценке их биологических функций [1, 7, 8, 9, 25, 30, 35, 41].

Макро- и микроэлементы в комплексе с биополимера-



Рис. 1. Основные гипомикроэлементозы сельскохозяйственных животных в связи с нарушением обменных процессов и патологическими признаками [37]

Таблица 1. Параметры всасывания, накопления и выведения некоторых химических элементов в организме условного человека\*

Химический элемент	Степень всасывания в жел.-киш. Тракте	Кратность накопления во всем организме	Кратность накопления в мышечной ткани	Период полувыведения, Т <sub>б</sub> , сутки
Мышьяк	1,0	18	18	12,5
Селен	0,9	107	87	11
Молибден	0,8	32	15	27,5
Фтор	1,0	1450	16	608
Йод	1,0	5,5	6,5	138
Медь	0,5	20,5	18,5	28–30
Цинк	0,5	177	138	245
Ртуть (орг.)	0,4	–	865	576–600
Кобальт	0,3	5	4	11,5
Свинец	0,2	120	11	60**
Олово	0,2	17	15,8	35–36
Железо	0,1	262	206	800–1800
Хром	0,1	44	12	83
Сурьма	0,1	158	117	20–35**
Никель	0,05	25	14,2	350–667
Кадмий	0,05	333	253	2306–4612

Примечание: \* – таблица составлена по данным Ю.И. Москалева [30] с дополнениями; \*\* – в опытах на крысах. Всасывание – фракция элемента, поступающая в кровь из желудочно-кишечного тракта; кратность накопления – отношение количества элемента во всем организме (или в ткани) к количеству элемента, потребляемому за сутки; Т<sub>б</sub> – биологический период полувыведения элемента (сутки), или время, в течение которого содержание элемента в органе или организме уменьшается вдвое.

ми являются биологически активными веществами, оказывающими на организм животных в экстремальных условиях различное влияние. При избытке в рационе селена у животных развивается алкалоз, при высоком содержании фтора в кормах – нарушение роста костной ткани. Высокое содержание в рационе тяжелых металлов (ртуть, кадмий, медь, цинк, свинец) оказывает отрицательное влияние на функционирование печени и почек, нервную систему и организм в целом. Некоторые химические элементы и их соединения относят к группе высокотоксичных веществ с  $LD_{50}$  3–7 мг/кг живой массы (селен, мышьяк, сурьма, таллий). Повышенное содержание в рационе токсичных химических элементов и их соединений приводит в ряде случаев к снижению генитальных функций животных, развитию анемии, проявлению эмбриотоксического действия [10, 14, 20].

Высокий уровень токсичных химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных может быть вызван их поступлением в пастбищные и кормовые растения около рудных месторождений, в результате техногенного загрязнения вблизи заводов и комбинатов, возделыванием кормовых трав на неизвестных по составу территориях (например, в зоне орошения), применения новых удобрений и кормовых добавок (в частности, продуктов микробиологического синтеза, криля, отходов пищевых заводов, премиксов, минеральных солей), передозировкой лекарственных препаратов (селенит натрия, сульфат меди), попаданием пестицидов, содержащих токсичные химические элементы, в корма.

Основными функциями химических элементов являются: пластическая (структурная), каталитическая, конформационная, детоксицирующая. Формирование пула химических элементов и их метаболизм в основном контролируются генетически. Эндогенная физиолого-биохимическая роль ряда микроэлементов общеизвестна: катализ биологически активных веществ, включая витамины, ферменты, гормоны, участие в процессах дыхания, нервной проводимости, восприятости света, обезвреживании ксенобиотиков, избытка перекисных соединений и свободных радикалов и другие (рис. 1).

Формирование пула макро- и микроэлементов зависит от многих факторов, главным из которых является уровень содержания химических элементов, форма соединений и особенности всасывания. Параметры всасывания, накопления и выведения некоторых химических элементов в организме животных освещены недостаточно. Тем не менее, в этом отношении представляют интерес указанные параметры в отношении условного человека, приведенные в табл. 1. По сравнению с металлоидами (селен, мышьяк, фтор, йод) большинство катионов металлов слабо всасывается в желудочно-кишечном тракте. Так, степень всасывания меди и цинка равна 0,5, кобальта – 0,3, а никеля и кадмия – 0,05. Однако, несмотря на низкую всасываемость ряда соединений металлов в желудочно-кишечном тракте животных, их высокое сродство к SH-, -S-S-, аминокруппам, и особенности циркуляции приводят к длительному пребыванию металлов в организме животных. Регуляция всасывания микроэлементов – одна из актуальных и нерешенных проблем в кормлении животных и питании человека.

С процессами всасывания химических элементов непосредственно связана биологическая доступность минеральных веществ для животных. Последняя зависит от возраста, генотипа, пола, физиологического состояния и интерференции кормовых факторов. Например, поступление в организм животных кальция и фосфора из рациона зависит не столько от их соотношения, сколько от абсолютного количества, а также концентрации витамина D. Оптимальное соотношение Ca:P важно в том случае, когда содержание в кормах обоих макроэлементов или одного из них недостаточно. Использование же фосфора из кормов зависит от соотношения Ca : P в большей степени, чем усвоение кальция [25]. Это точку зрения разделяет также профессор А.Г. Кабыш [24].

В результате биогеохимических исследований таксонов биосферы установлено проявление реакций у животных и человека на геохимические факторы среды (на содержание химических элементов в почвах, водах, растениях, растительных кормах и пищевых продуктах). Особенно большое значение в реакциях организмов на химические элементы среды приобретает близость их содержания к нижним или верхним пороговым концентрациям. Согласно В.В. Ковальскому [25, 26], между нижними и верхними пороговыми концентрациями содержание химических элементов в почвах и кормах, соответствующее норме, может изменяться в несколько раз, например, содержание йода в почвах, в среднем в 8 раз, в кормах, в среднем в 17 раз, содержание молибдена в почвах – в 3 раза, в кормах – в 12 раз и т.д. При изменении в несколько раз в кормах концентрации отдельных микроэлементов организм способен во многих случаях регулировать процессы обмена веществ, но напряжение регуляторных механизмов в таком случае все время возрастает по мере приближения к пороговым концентрациям и может наступить срыв нормальной их функции при дальнейшем понижении или повышении содержания в кормах химических элементов. В настоящее время критические концентрации микроэлементов являются основой биогеохимических критериев экологической оценки территорий [28].

#### Локальные эндемические микроэлементозы

«Эндемия» от греческого слова *endemos* – местность означает постоянное наличие в конкретном таксоне биосферы заболеваемости людей определенной болезнью, обусловленной соответствующими социальными и природными условиями. При этом под биогеохимической эндемией в данном случае подразумевается местное заболевание, связанное с недостатком или избытком макро- и микроэлементов в среде и пищевой цепи. Еще недостаточно изучены заболевания животных организмов, вызываемые недостатком бора, стронция, свинца, кадмия, ртути, но установлено, что избыток этих элементов в естественной среде может вызвать эндемические болезни животных и человека [5, 20]. Эндемические болезни, вызываемые недостатком кобальта, цинка или йода, недостатком или избытком меди, фтора, марганца, селена, напротив, в настоящее время достаточно глубоко изучены (табл. 2).

**Таблица 2.** Краткая характеристика некоторых эндемических болезней сельскохозяйственных животных [4, 15, 16, 17, 19, 22, 20, 23, 55, 56]

Заболевание	Симптомы	Участие химических элементов	
		Дефицит	Избыток
Эндемический зоб	Нарушение синтеза и метаболизма гормонов щитовидной железы	I, Cu, Se	Ca, Sr, Pb, F, S
Гипокупроз (алиментарная анемия)	Нарушение регенерации эритроцитов, образования Hb, снижение тканевого дыхания, отек и размягчение мозга	Cu	Mo
Энзоотическая Атаксия	Снижение активности оксидаз, энцефаломалация	Cu, Co, I	B, Mo, Pb, Mn, Zn, S
Гиперкупроз	Гемоглобинурия, паренхиматозная желтуха		Cu
Гипокобальтоз (сухотка, болотная болезнь)	Анемия, анорексия, нарушение эритропоза, обмена белков и углеводов	Co	Mn, Sr, B, Ca, P
Гиперкобальтоз	Хронический токсикоз, анорексия, нарушение роста, полицитемия, нефросклероз		Co
Паракератоз	Поражение кожи, слизистых оболочек, дерматит, алопеции, анемия, отек конечностей	Zn	Ca
Эндемический кариес зубов	Стоматит, разрушение дентина и эмали, молочно-белая крапчатость	F	*
Флюороз	Поражение зубов, пигментация, нарушение оссификации, остеодистрофия		F
Гипомагниемия	Недостаток магния, нервно-мышечные расстройства, нарушение ионного равновесия	Mg, Ca	
Гипокальциемия	Тетания, спазмы скелетных мышц, гортани, желудочно-кишечного тракта	Ca	
Борный энтерит	Диарея, исхудание, анемия	Cu	B
Молибденовый токсикоз (молибденоз)	Гастрит, анемия, утолщение суставов, нарушение обмена азота	Cu, S, Co, Zn, Fe	Mo
Остеодистрофия	Нарушение Са-Р обмена, функций и строения костной ткани	P, Ca, Co, Mn, I	Mg, F, S, Sr, Ba, B, Ni
Уровская болезнь	Нарушение нейроэндокринной системы, дистрофические и дегенеративные изменения в костной ткани, хряще	Se, I, Co, Cu, Ca	Ba, Sr, Zn, Cr, Mn, Pb, Li, P
Беломышечная болезнь	Нарушение минерального, углеводного и белкового обмена, поражение сердечной и скелетной мышц, их ригидность	Se (Co, Cu, I)	Ca, Mo
Энзоотическая миоглобинурия лошадей	Дистрофия поперечно-полосатой мускулатуры	Se (Mn, I, Co, Ca, P)	
Свинцовый токсикоз	Расстройство центральной нервной системы, парез или паралич задних конечностей, анемия		Pb
Кадмиевый токсикоз	Нефроз, нарушение Са-Р обмена, остеопороз, остеолит, анемия	Zn, Cu	Cd
Литиевый токсикоз	Выпадение шерсти, гипокальциемия, гипергликемия	Cu, Co, I, P	Li
Никелевый токсикоз	Ni-экзема, потеря зрения, гастроэнтерит, тромбоз сосудов		Ni (Ba, Fe, F)

Примечание: \* – множество других факторов, включая биогеохимические.

Достоверно установлена зависимость от дозы характера действия химического элемента на отдельные системы организма и на целый организм. В природных условиях, несмотря на сложность химического состава геохимической среды, обычно ведущее значение в возникновении эндемических заболеваний имеет один химический элемент, который находится в среде в особенно дефицитном или избыточном количестве. В ряде случаев может сказываться на возникновении эндемии одновременное низкое

или повышенное содержание в пище нескольких химических элементов или их соотношений, например кобальта и меди, кобальта и йода, меди, марганца и йода, стронция и кальция. В этих случаях эффект действия микроэлементов может определяться параллельным нарушением нескольких обменных процессов, в каждом из которых один элемент имеет ведущее значение. Как правило, этиологическая роль химических элементов в патогенезе биогеохимических эндемий носит сложный характер. Для

понимания реакций организмов на факторы геохимической среды необходимо выяснить основные точки приложения химических элементов к биохимическим процессам и установить их звенья, вовлекающие целый организм в реакции на недостаток или избыток определенных элементов, т.е. установить причинные зависимости и объяснить значение каждой стадии в интегральном проявлении реакции организма [18, 20].

При геохимических эндемиях, кроме специфических признаков нарушения обмена веществ, существуют общие расстройства жизнедеятельности. К ним относятся у сельскохозяйственных животных падение продуктивности, нарушение воспроизводительной способности животных, понижение иммуно-биологических свойств организмов.

Вопрос о проявлении микроэлементозов среди диких животных недостаточно изучен. Существуют данные, что в пределах некоторых районов Болгарии, бедных медью, кобальтом и йодом, у оленей обнаружен эндемический зоб. Выявлены также случаи паракератоза среди диких и домашних животных в условиях недостатка цинка [10, 43]. По мнению Т.Г. Дерябиной, нарушение микроэлементного баланса может быть причиной заболеваемости зубров гнойно-некротическим баланопоститом (с ярко выраженной патологией в генитальных органах) [11]. Данное предположение основано на фактическом умеренно повышенном уровне содержания ряда микроэлементов (кадмий, свинец, хром, никель) в организме зубров, снижении концентраций меди и кобальта в органах и тканях и косвенных данных о влиянии тяжелых металлов на различные физиолого-биохимические процессы у других видов животных.

Наряду с моногипер- и гипомикроэлементозами животных в настоящее время возникает проблема комплексных элементозов, проявляющихся в результате экстенсивного ведения сельского хозяйства и касающаяся преимущественно высоко продуктивных животных. По мнению В.Т. Самохина, главными причинами расстройств здоровья животных всех видов и пород со всеми неблагоприятными последствиями являются экологические факторы: то есть условия окружающей среды, и главное, первостепенное значение имеет – дисбаланс питательных веществ в рационах кормления животных, в частности – дефицит микроэлементов: меди, цинка, марганца, кобальта, йода, селена (рис. 1) [36, 37]. При длительном дефиците, или снижении поступления биологически активных макро- и микроэлементов в организме возникает патологическое состояние – хронический комплексный гипомикроэлементоз, наносящий значительный экономический и экологический ущерб [37]. У всех видов животных и у человека он проявляется расстройством течения всех видов обмена веществ, и прежде всего, снижением биосинтеза и функциональной активности нуклеиновых кислот, которые выполняют важнейшую биологическую роль - синтез белков, а это означает, что падает биосинтез гормонов, ферментов, иммуноглобулинов.

В связи с развитием комплексных микро-

элементозов отметим роль микроэлементов в патогенезе вирусных и инфекционных заболеваний. В частности, представляет интерес связь недостатка микроэлементов с этиологией вирусных заболеваний. Установлена трансформация неvirulentного РНК-ового вируса коксаки типа В3 (CVB3/0) в virulentный у мышей при содержании их на рационе с недостатком селена в результате необратимой мутации, связанной с видоизменением структуры генома [49, 67]. По-видимому, это имеет непосредственное отношение к миопатии – эндемической болезни Кешана, распространенной в районах КНР с недостатком селена в среде. На конгрессах по проблемам биологической роли микроэлементов (Бангкок, 2005; Херсонес, 2007; Афины, 2009) неоднократно подчеркивалась роль цинка и других микроэлементов в патогенезе некоторых бактериальных заболеваний органов человека и животных [72]. Поэтому проблема оценки недостаточности микроэлементов приобретает особую актуальность.

### Взаимосвязь микроэлементов

Взаимодействие микроэлементов и связь микроэлементозов – одна из сложнейших проблем биогеохимии и биологических наук. Взаимодействие имеет место на космическом, планетарном, экосистемном, биогеоценозическом, внутривидовом, организменном, тканевом, клеточном и молекулярном уровнях, на стадиях всасывания химических элементов и их метаболизма. Они наблюдаются как в процессе образования и трансформации планетного вещества, в эпигенетических и гипергенных процессах (миграция и дифференциация вещества), так и в биогеохимических процессах (аккумуляция и рассеяние химических элементов организмами).

В желудочно-кишечном тракте животных существуют как синергизм, так и антагонизм между ионами и соединениями макро- и микроэлементов на стадии всасывания, на фазе проникновения через мембраны, на молекулярном и генетическом уровнях.

У животных с однокамерным желудком этот процесс

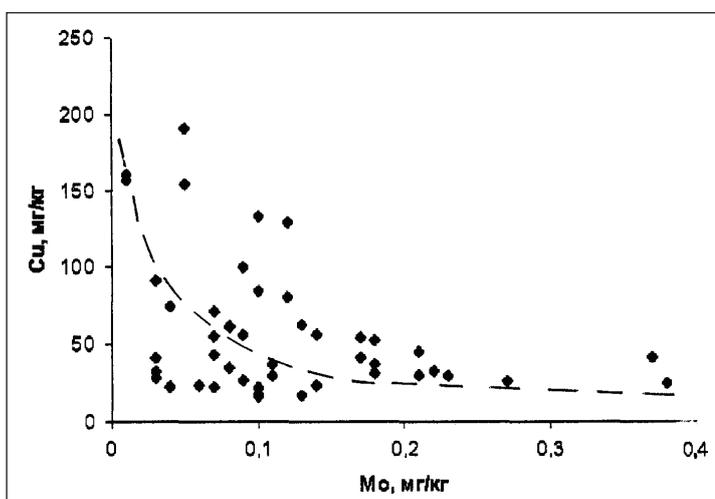


Рис. 2. Связь концентраций меди и молибдена в волосах дойных коров при избытке меди в рационе (число проб = 46).

контролируется фитатами. Усвоение Fe контролируется повышенным уровнем Pb, Mn, Zn, Cu, P и фитатами. Всасывание меди ингибируется высокими концентрациями Fe, Mo, Cd, S, и Zn. Ассимиляция цинка нарушается высоким содержанием Cu, Cd, Ni, Fe, Ca и фитата, а усвоение Mn изменяется под влиянием Ni, Fe, P [20, 44–47].

Общеизвестны такие взаимодействия также между кальцием и цинком, кальцием и кадмием, кальцием и стронцием, кальцием и фосфором, медью и молибденом, уровнем сульфатов и медью, селеном и йодом и др.

Кроме определения точек приложения микроэлементов в обмене веществ, В.В. Ковальский придавал особую роль взаимодействию в метаболизме макро- и микроэлементов. Было установлено, что в зависимости от геохимических условий – соотношений и концентраций молибдена и меди в среде, пастбищных растениях и кормах активность ксантинооксидазы печени и почек животных меняется. Было установлено 2 активных центра в молекуле фермента, соответственно содержащие Mo и Cu, связанные с активностью металлопротеида [27]. В специальных опытах на дойных коровах при выделении ксантинооксидазы из молока и ее разделении на изоферменты была обнаружена дифференциация фермента на изоферменты, по-разному связанные с уровнем меди и молибдена в рационе животных.

Результаты исследований во многом связаны с механизмами регуляций в организме животных в условиях биогеохимических провинций и геохимически аномальных биогеоценозов. Так, на уровне тканей нами обнаружен антагонизм между медью и молибденом [40] (рис. 2).

Существует попытка систематизировать связи между биологически активными химическими элементами. При этом важную роль в усвоении макро- и микроэлементов играют пищевые компоненты (фитат, уровень углеводов,

органические кислоты, гуминовые кислоты и др.).

### Глобальные биогеохимические эндемии

Кратко рассмотрим биогеохимические провинции с глобальным проявлением эндемий. Как правило, биогеохимические эндемии проявляются на территории определенных биогеохимических провинций. Примерами таких глобальных (широко распространенных) эндемий являются флюороз, эндемический зоб и патологии, связанные с селеновой недостаточностью.

### Флюороз

Одним из наиболее широко распространенных эндемических заболеваний на земном шаре является флюороз, возникновение и развитие которого связано с избыточным содержанием фтора в природных водах, пищевых продуктах и кормах. Эндемический флюороз – заболевание людей и животных, первым, а порой и единственным симптомом которого являются изменения в твердых тканях зубов. Внешне эти изменения проявляются в нарушении нормального цвета эмали зубов, а в тяжелых случаях и ее целостности. В зависимости от тяжести заболевания, эмаль изменяет окраску от едва заметных матово-белых пятен до пятен коричневого и темно-коричневого цвета; возможны эрозии эмали, изменения механических свойств твердых тканей зуба – хрупкость, ломкость, повышенная стираемость [57].

Существуют различные формы флюороза: кифоз и заметные изменения скелета; костно-суставное заболевание *Kenhardt*; «вогнутые колени» (*genu valgum*); чайный флюороз (Тибет, КНР); техногенный (промышленный) флюороз.

В районах вулканизма, ряде аридных регионов мира и в зонах добычи и переработки фосфоритов и апатитов

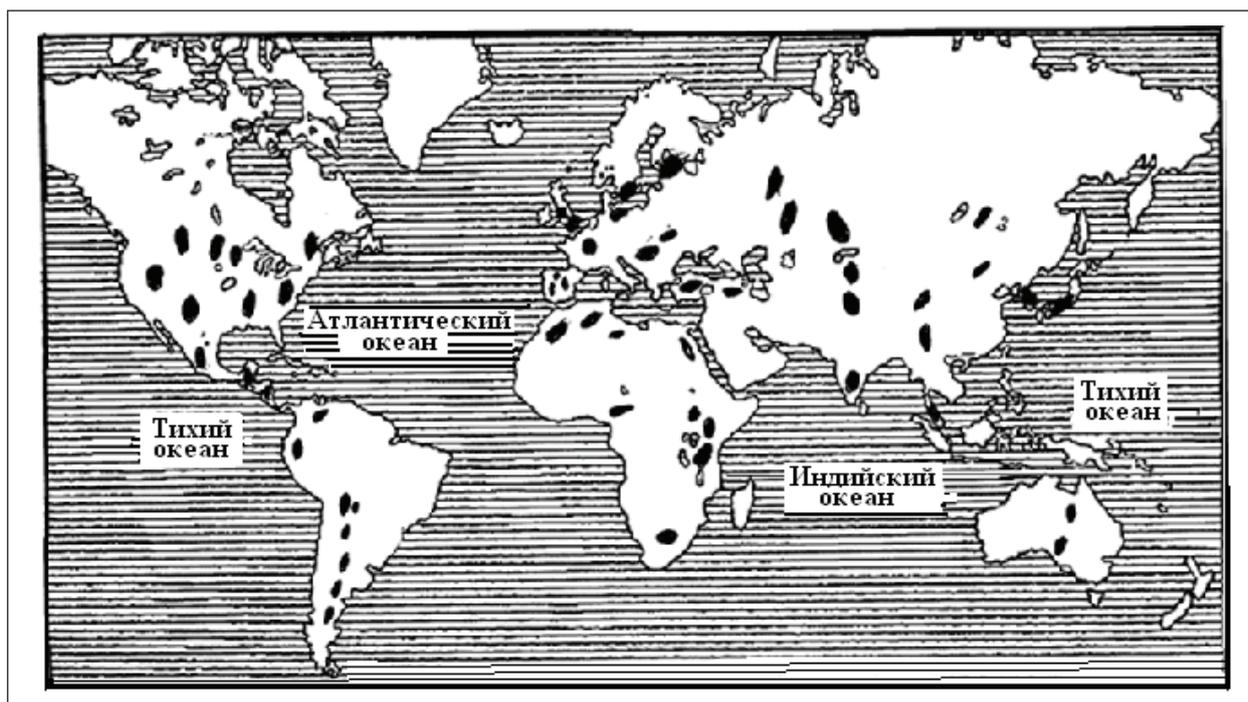
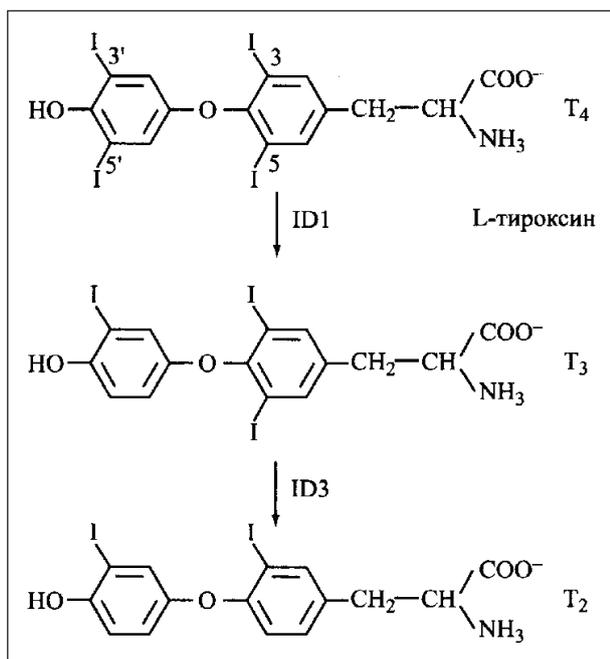


Рис. 3. Распространение флюороза на континентах (темные пятна)



**Рис. 4.** Образование и распад активного тиреоидного гормона  $T_3$  [68].  $T_4$  – 3,5,3',5'-тетраидодтиронин;  $T_3$  – 3,5,3'-триидодтиронин;  $T_2$  – 3,3'-диидодтиронин

часто встречаются эндемический и техногенный флюороз сельскохозяйственных животных и населения с преимущественным поражением зубов и скелета (Мексика, страны Латинской Америки, ряд районов Африки, Италии), бессточных аридных регионах (пустыни Китая, Монголии, Казахстана, Австралии, Африки, Аравийского полуострова, Индии) (рис. 3).

Возникает проблема воспроизводства и содержания дойного скота. В токсических количествах фториды нарушают метаболизм кальция, синтез коллагена кости, усиливая скорость костной аккреции (роста, прироста), увеличивают скорость резорбции кости и общий оборот кальция в организме [6, 63, 69–71].

Приуроченность заболеваемости эндемическим флюорозом к одному из гидрохимических показателей – избыточному содержанию фтора в природных водах не является какой-либо случайностью, а четко отражает биогеохимические закономерности, т.е. высокие концентрации фтора в природных водах отмечаются в основном там, где породы богаты этим элементом (гранитные интрузии, к которым часто приурочены месторождения флюоритов, а также содержащие массу рассеянных фторсодержащих минералов, месторождения природных фосфатов и флюоритов осадочного происхождения, районы бывшей или современной вулканической деятельности) [6, 57]. В настоящее время источником фтора являются также фосфориты как удобрения, а также алюминиевые заводы [31, 33].

Коррекция флюороза разработана недостаточно (очистка вод, использование переосажденного карбоната кальция, оксида алюминия и др.). Борьба с флюорозом состоит в выявлении обогащенных фтором территорий, использовании продуктов питания и кормов, производимых на территориях с нормальным статусом фтора, очистке

питьевой воды (колоночные технологии), в преимущественном разведении свиней и кур. Всасывание фтора у животных подавляется солями кальция и магния, а также фосфатами. Используемый в медицинской практике гидроксид алюминия уменьшает усвоение фтора в организме человека и животных на 50 и более процентов.

### Эндемический зоб

История дефицита йода у животных и человека началась с развитием жизни животных и уходит в глубокую древность. Известен китайский кодекс 1567 г. до н.э., где для лечения зоба рекомендуют использовать морские водоросли. Связь между проявлением зоба среди жителей Франции и содержанием йода в воде, почве и пище установил в 1854 г. француз Шатен (А. Chatin). И несмотря на то, что в то время Французская Академия наук не признала эти данные открытием, спустя полвека немецким ученым Бауману (Е. Bauman) и Освальду (А. Oswald) удалось доказать этиологическую роль йода в патогенезе зубной эндемии [20, 44, 51].

Об этиологической роли дефицита йода в развитии эндемического зоба и кретинизма свидетельствуют данные о распространении зоба в районах с недостатком йода, эффективность йодной профилактики и выявленные особенности метаболизма у больных эндемическим зобом. При йодной недостаточности уменьшается концентрация этого элемента в крови и тканях, нарушается функция щитовидной железы. Железа увеличивается. Точкой приложения йода в организме млекопитающих служит синтез гормонов щитовидной железы (3,5,3'-трийодтиронин, 3,3'-дидодтиронин, а также тироксина и тканевых производных гормонов – дийодтироуксусной и моноидотироуксусной кислот и др.) (рис. 4). Кобальт является одним из регуляторов обмена йода и синтеза гормонов, по-видимому, образуя в щитовидной железе кобальтовую ферментную регулируемую систему реакции йодирования. Возможно, что марганец и медь участвуют в регуляции обмена йода.

Среднее содержание йода в Земной коре равно  $5 \times 10^{-5} \%$  (0,5 мг/кг). В наземных растениях в среднем присутствует йода 0,42 мг/кг сухого вещества, а в органах и тканях наземных животных – 0,16–0,43 мг/кг. При этом в морских водорослях и животных содержится йода 30–1500 и 1–150 мг/кг соответственно [20, 65]. Прибрежные районы морских и океанических резервуаров считают наиболее благоприятными относительно экологического статуса йода. Горные территории и центральные части континентов, как правило, дефицитны по уровню йода в среде, а экологический статус йода зависит от глобального процесса переноса аэрозолей с Мирового Океана на континенты и особенностей этого цикла.

Согласно данным ВОЗ [65], 12 стран (половина обследованных стран Европы) составляют группу, в которой эндемический зоб продолжает оставаться серьезной проблемой. В мире насчитывается более 200 млн. больных эндемическим зобом [65]. В отдельных регионах мира зоб охватывает от 0,4 до 90 % населения. Зоб встречается в горных (Альпы, Алтай, Гималаи, Кавказ, Карпаты, Корди-

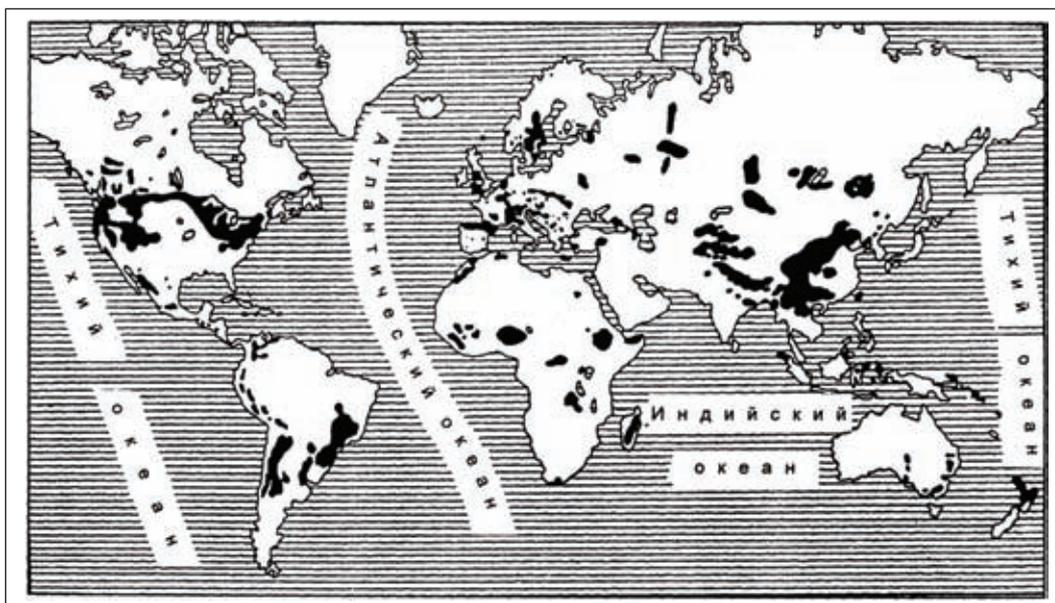


Рис. 5. Распространенность эндемического зоба на континентах (темные пятна)

льеры, Памир, Тянь-Шань) и в равнинных (Тропическая Африка, Южная Америка) районах. В СНГ эндемический зоб наблюдается в центральных областях России, в Западной Украине, Белоруссии, Закавказье, Средней Азии, районах Забайкалья и Дальнего Востока, низовьях сибирских рек. Местность считается эндемичной, если 10% населения имеют признаки зоба.

«В России распространенность йод-дефицитными состояниями составляет 10–15% среди городского населения и 13–15% среди сельского населения, а уровень потребления йода с питанием в три раза ниже рекомендованных норм. Как следствие этого, в некоторых регионах РФ распространенность крайне тяжелого осложнения йодного дефицита – эндемического кретинизма – составляет от 1 до 3%. Высока распространенность патологии щитовидной железы, вызванной дефицитом йода, проводится большое количество операций на щитовидной железе, что приводит к временной и постоянной нетрудоспособности части населения, снижению продолжительности и качества жизни» [10а]. Существует ряд наследственных нарушений обмена йода [35].

Коррекция йод-дефицитных состояний осуществляется с использованием йодированной поваренной соли и специальных медицинских препаратов. Тем не менее, существуют зобогенные факторы, которые усиливают развитие зоба. Так, известны места распространения зоба в ряде приморских районов с достаточным содержанием йода. Установлено отрицательное влияние на этот процесс неполноценного однообразного питания, в особенности дефицит белков и витаминов. В загрязненной питьевой воде содержатся токсические вещества, как, например, мочевины – источник для образования таких струмогенов, как тиомочевина, тиюрацил и урохром.

Показано также, что развитию зобной эндемии способствуют недостаточное поступление в организм брома, цинка, кобальта, меди, молибдена, а также неправильное

соотношение микроэлементов (избыток кальция, фтора, марганца, хрома). В некоторых продуктах питания, например из семейства крестоцветных, относящихся к роду *Brassica*, содержатся вещества, дающие зобогенный эффект: перхлораты, тормозящие проникновение йодидов в железу; тиомочевина, тиюрацил и его производные, препятствующие превращению йодидов в органический йод, снижают синтез гормона. Струмогенные вещества содержатся в репе, брюкве, фасоли, цветной капусте, моркови, редисе, шпинате, арахисе, манго, сое и др. [29]. Коррекция йод-дефицитных состояний – сложная задача. В связи с тем, что в метаболизм йодсодержащих гормонов осуществляется селенсодержащими ферментами, профилактика дефицита йода должна осуществляться параллельно с коррекцией селеновой недостаточности. При этом решающую роль играет доза микроэлементов. Избыток йода негативно сказывается на функции щитовидной железы, вызывая аллергии и другие патологии.

### Селеновая недостаточность

Современный период в оценке селена как жизненно важного микроэлемента характеризуется глубокими знаниями биологических функций соединений селена. Селен оказался генетически востребованным, так как синтез селен-содержащих ферментов, регулируемый определенными генами, зависит от уровня содержания биологически приемлемых форм селена. Селен-содержащие белки и пептиды контролируют в организме человека и животных уровень перекисных соединений, синтез нуклеиновых кислот и протеинов, липидный обмен, процессы сперматогенеза, остроту зрения и внимания. Они предупреждают развитие эндемической хондродистрофии, простатита, панкреатита, обладают карциностатическим и радиопротекторными свойствами [13, 15, 16, 48, 49, 53, 54, 57]. Практически во всех селенсодержащих белках селен присутствует в форме селеноцистеина (рис. 5).

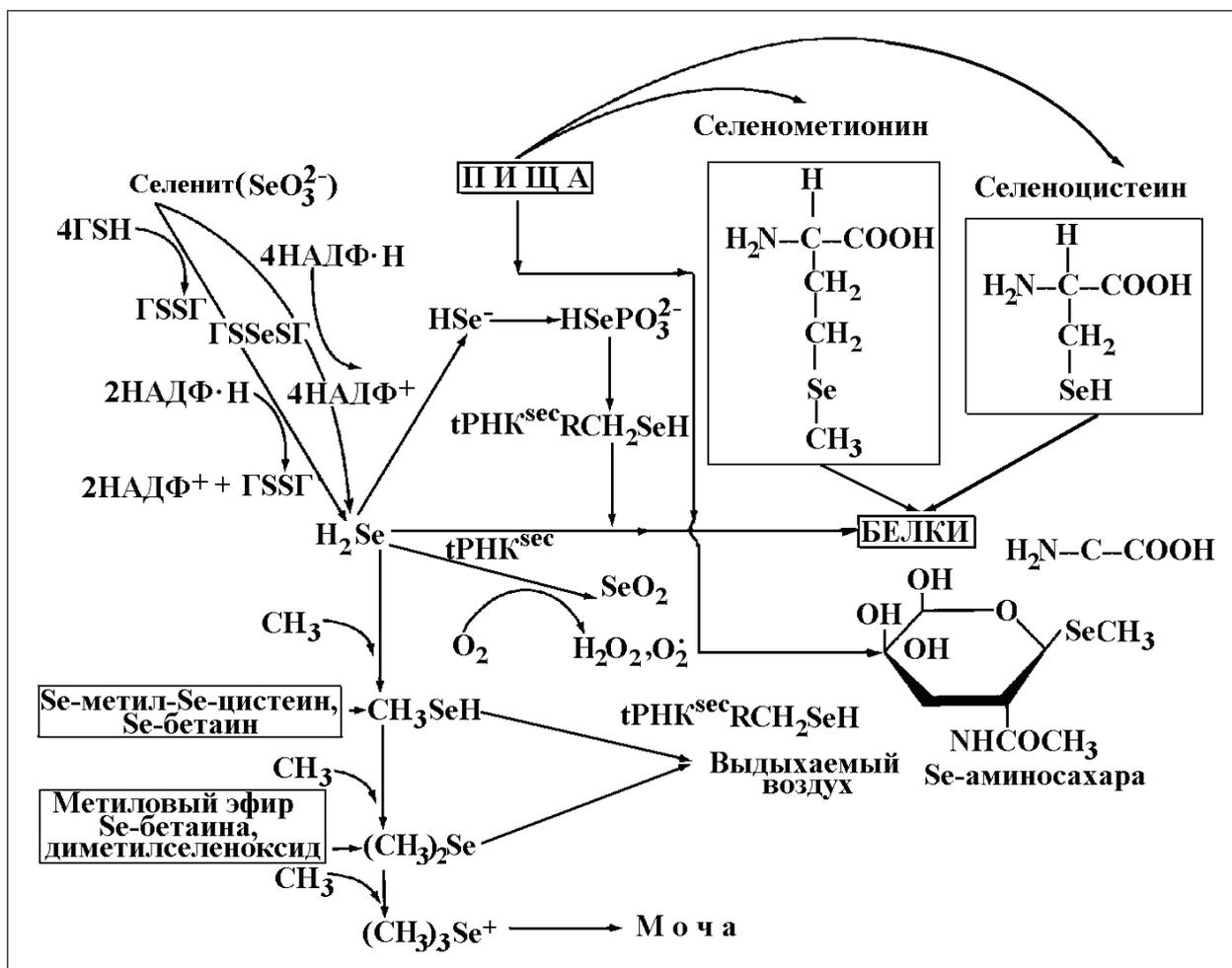


Рис. 6. Метаболизм селена в организме млекопитающих [68, с дополнениями]

Основные заболевания, связанные с селеновой недостаточностью: Кешанская болезнь человека, урвская Кашина-Бека болезнь (?), панкреатиты и простатиты, беломышечная болезнь животных, экссудативный диатез птиц, токсическая дистрофия печени свиней и ряд других [55, 58–62].

Распределение селена в биосфере неравномерное. Основные континентальные участки распространения селеновой недостаточности: ряд районов США и Канады, Австралии, Новой Зеландии, Сербии, стран Балтии, Республики Беларусь, Норвегии и Финляндии, огромные массивы России, Монголии и Китая. Локальные участки Se-дефицита встречаются в Республике Кыргызстан [12, 52]. Наиболее часто селеновая недостаточность проявляется в зоне Нечерноземья [66].

Генезис БГХ селеновых провинций связан с дискретностью распределения селена в биосфере, интенсивным выносом его из супесчаных и интенсивно культивируемых почв и аккумуляцией на различных барьерах (торфяники, глинистые и углистые отложения, преобладание восстановительных условий). Как правило, в районах распространения природных вод с малой минерализацией и низким содержанием селена наиболее часто встречаются селенодефицитные территории. Кроме того, в совре-

менный период развития биосферы существуют общие тенденции уменьшения аккумуляции этого микроэлемента живым веществом. Определенную роль играют и техногенные факторы – экстенсивное землепользование, усиленная миграция тяжелых металлов и др.

Существуют индивидуальная, групповая и тотальная коррекция Se-дефицита, микроудобрения, БАД, препараты, регуляция аккумуляции (технологии земледелия), регуляция всасывания. Коррекция селенодефицита осуществляется посредством применения микроудобрений и специальных агротехнологий, а также с использованием Se-препаратов и пищевых добавок, регулированием питания (всасывания). Технологии получения пшеницы, выращенная на почвах с оптимальным содержанием селена разработаны профессором Иваной Джудич (Сербия), оказались довольно успешными [53]. Кроме того, представляют интерес новые нетоксичные препараты [13].

Финляндия является хорошим примером профилактики селеновой недостаточности на государственном уровне. В результате принятых мер, предпринятых правительством. В этой стране был достигнут оптимальный селеновый статус с уменьшением патологий человека, связанных с дефицитом селена [3].

## Заключение

Таким образом, геологическая история эволюции и современного техногенного преобразования таксонов биосферы обуславливают гетерогенность химического состава среды обитания организмов, метаболизма макро- и микроэлементов и проявление биогеохимических эндемий.

Представленные данные показывают существенную роль микроэлементов в состоянии здоровья животных и человека. Установлено определенное значение техногенных факторов в проявлении микроэлементных патологий. Это влияние гораздо глубже, так как меняются биогеохимические циклы химических элементов.

Несмотря на территориально очерченные эндемии (флюороз, эндемический зуб, болезни селеновой недостаточности) предупреждение их проявления, меры профилактики и лечения разработаны недостаточно и нуждаются в улучшении. Особенно остро это касается флюороза человека и сельскохозяйственных животных, обитающих в промышленных зонах (производство алюминия, переработка апатитов и фосфоритов), где существуют реальные проблемы с состоянием здоровья населения и воспроизводством крупного и мелкого рогатого скота.

Диагностика и профилактика микроэлементозов – сложная и важная проблема. Ее решение связано с системным изучением статуса как отдельных микроэлементов, так и их групп, а также макроэлементов, разработкой и применением новых методов биохимии, физиологии, молекулярной биологии, генетики и аналитической химии. Процессы всасывания микроэлементов и их регуляция, формирование

пула, синтез биологически активных соединений, включая металлопротеиды, уровни концентраций микроэлементов в жидкостях и тканях животных в процессе онтогенеза остаются наиболее актуальными вопросами наряду с разработкой агрохимических и биогеохимических технологий на государственном уровне.

Тенденция использования химического полиэлементного состава тканей млекопитающих, включая человека, представляет чрезвычайную ценность [34, 38]. Однако, для этого необходим огромный статистический материал и абсолютная надежность связи между нормой, патологией и изменениями в полиэлементном составе органов, тканей и биологических жидкостей.

Это особенно актуально сейчас в период рыночной экономики, когда рынок изобилует массой микроэлементных препаратов, рекомендуемых различными фирмами для коррекции микроэлементозов без достаточной фундаментальной базы. Ряд ученых не поддерживает применение микроэлементных препаратов в дозах, превышающих их суточную потребность у животных и человека. Тем не менее, правильная коррекция микроэлементного питания при заболеваниях, связанных с нарушением метаболизма и поступления микроэлементов (обширная группа сердечно-сосудистых, опухолевых, костно-суставных и эндокринных патологий) весьма перспективна.

Во всех случаях необходима разработка и реализация специальных государственных и межгосударственных программ по изучению генезиса микроэлементозов и поиска эффективных технологий их коррекции.

## Литература

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека. – М.: Медицина, 1991. – С.84. (всего 496 с.)
2. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Строчкова Л.С. Принципы классификации заболеваний биогеохимической природы // *Арх. Пат.*, 1983. – №9. – С.3–14.
3. Альфтан Г.В. Селен в минеральных удобрениях – история вопроса, мониторинг и возможное влияние на здоровье населения Финляндии // *Питание и обмен веществ. Под ред. А.Г. Мойсеевца. Сб. научных статей.* – Гродно, 2002. – С.6–13.
4. Бек Е. К вопросу об остеоартритной деформирующей эндемии в Забайкальской области. Дисс. ... доктора медицинских наук. Военно-медицинская академия. – Санкт-Петербург, 1906. – 190 с.
5. Барановская Н.В. Об актинидах в живом веществе // *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы III Международной конференции – Томск, ТПУ, 23–27 июня 2009.* – Томск: STT, 2009. – С. 73–82.
6. Белякова Т.М., Жаворонков А.А. Изучение эндемического флюороза на континентах земного шара // *Биогеохимическое районирование – метод изучения экологического строения биосферы (Тр. Биогеохим Лаб., т.15).* – М.: Наука, 1978. – С.37–53.
7. Вернадский В.И. *Биогеохимические очерки (1922–1932 гг.).* – М.: изд. АН СССР, 1940. – 250 с.
8. Виноградов А.П. *Биогеохимические провинции и эндемии // Докл. АН СССР, 1938.* – Т.18. – № 4/5. – С.820.
9. Войнар А.О. *Биологическая роль микроэлементов в орга-*  
*низме животных и человека, 2 изд.* – М.: Высшая школа, 1960. – 544 с.
10. Габрашански П., Недкова Л. *Вопросы геохимической экологии диких и охотничьих животных // Биологическая роль микроэлементов.* – М.: Наука, 1983. – С.71–75.
- 10а. Дедов И.И., Мельниченко Г.А., Трошина Е.А. и др. *Дефицит йода – угроза здоровью и развитию детей России. Национальный доклад.* – М., 2006. – 124 с.
11. Дерябина Т.Г. *Нарушение микроэлементного баланса – возможная причина заболеваемости зубров гнойно-некротическим баланопоститом // Беловежская пуца на рубеже третьего тысячелетия. Материалы научно-производственной конференции, посвященной 60-летию со дня образования государственного заповедника «Беловежская пуца» (22–24 декабря 1999 г., п. Каменюки Брестской обл.).* – Каменюки, 1999. – С.277–278.
12. Дженбаев Б.М., Шамшиев А.Б., Ермаков В.В. *Биогеохимическое районирование природно-техногенных территорий (Кыргызстан) // Современные проблемы геохимической экологии и сохранения биоразнообразия: материалы международной конференции, Бишкек, 9–10 октября 2003 г.* – Бишкек, 2003. – С.68–71.
13. Ермаков В.В. *Пути преодоления недостаточности селена // Селекор (диметилдипиразолпселенид). Биологическое действие.* – М.: MAGERIC, 2006. – С.198–203.
14. Ермаков В.В., Дегтярев А.П., Кречетова Е.В., Тютиков С.Ф., Петрунина Н.С. *Биогеохимические провинции и их эволюция. // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии, 2009.* – №1(9). – С.3–21.

15. Ермаков В.В., Иванович Л.Н. Дефицит селена как отражение дезорганизации биосферных процессов и ее преодоление // *Проблемы биогеохимии и геохимической экологии*, 2009. – №1(9). – С.98–105.
16. Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. – М.: Наука, 1974. – 298 с.
17. Ермаков В.В., Летунова С.В., Алексеева С.А. и др. Геохимическая экология организмов в условиях Южно-Ферганского ртутного субрегиона биосферы // *Тр. Биогеохим. лаб.* – М.: Наука, 1991. – Т.22. – С.24–69.
18. Ермаков В.В., Мойсеенок А.Г., Самохин В.Т. и др. Преодоление недостаточности селена и йода в организме человека и животных: формирование межгосударственной программы // *Актуальные проблемы геохимической экологии: Материалы V Международной биогеохимической школы.* – Семипалатинск, 2004. – С.285–289.
19. Ермаков В.В., Сафонов В.А., Тютиков С.Ф. Географические особенности варьирования микроэлементов в крови крупного рогатого скота // *Биогеохимия элементов и соединенный токсикантов в субстратной и пищевой цепях агро- и аквальных систем.* – Тюмень: ТГСХА, 2007. – С.100–103.
20. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф. Геохимическая экология животных. – М.: Наука, 2008. – 325 с.
21. Жаворонков А.А., Михалева Д.М., Авцын А.П. Микроэлементозы – новый класс болезней человека, животных и растений // *Проблемы Биогеохимии и геохимической экологии (Тр. Биогеохим. лаб.)*. – М.: Наука, 1999. – Т.23. – С.183–200.
22. Жолнин А.В. Биологическое значение титана // *Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы (Тр. Биогеохим. Лаб.)*. – М.: Наука, 2003. – Т.24. – С.289–300.
23. Замана С.П., Ермаков В.В., Плешаков П.В., Плешаков В.И. Экотоксикологическая оценка биогеохимических провинций, обогащенных свинцом // *Сибирский экологический журнал*, 2001. – №2. – С.213–216.
24. Кабыш А.А. Нарушение фосфорно-кальциевого обмена у животных на почве недостатка и избытка микроэлементов в зоне Южного Урала. – Челябинск: ОАО «Челябинский Дом печати», 2006. – 408 с.
- 24а. Ковалевский А.Л. Региональные и локальные биогеохимические провинции и линеаменты // *Материалы 2-й Российской школы «Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы» (тезисы, доклады, воспоминания)*. – М.: ГЕОХИ РАН, 1999. – С.85–86.
25. Ковальский В.В. Геохимическая экология. Очерки. – М.: Наука, 1974. – 229 с.
26. Ковальский В.В. Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии. *Избранные труды / отв. ред., авт. вступ. ст. Л.К. Эрнст; сост. Ю.В. Ковальский.* – М.: Россельхозакадемия, 2009. – 357 с.
27. Ковальский В.В., Цой Г.Г., Воротницкая И.Е. Адаптивные изменения ксантиноксидазы в условиях молибденовых и медных биогеохимических провинций и проблемы геохимической экологии организмов // *Тр. Биогеохим. лаб.* – М.: Наука, 1976. – Т.14. – С.20–47.
28. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия / Рыбальский Н.Г., Кузьмич В.Н., Шакин В.В. и др. – М.: Мин-во охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, РД ГНТУ, 1992. – 58 с.
29. Кузнецов С.Г., Батаева А.П., Овчаренко А.Г., Аухатова С.Н. Функциональное состояние щитовидной железы и использование йода в организме поросят при разных условиях питания // *Докл. РАСХН*, 1993. – №1.
30. Москалев Ю.И. Минеральный обмен. – М.: Медицина, 1985. – 288 с.
31. Мотузова Г.В., Безуглова М.С. Экологический мониторинг почв. – М.: Гаудемаус, 2007. – 237 с.
32. Панин М.С. Аккумуляция тяжелых металлов растениями Семипалатинского Прииртышья. – Семипалатинск: ГУ «Семей», 1999. – 309 с.
33. Панин М.С. Химическая экология. Учебник для вузов / Под ред. С.Е. Кудабергенова. – Семипалатинск: Семипалатинский гос. Ун-т, 2002. – 852 с.
34. Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Игнатова Т.Н. Современное состояние вопроса изучения геохимии человека // *Геохимия*, 2011. – №7. – Вып.49. – С.779–784.
35. Риш М.А. Наследственные микроэлементозы // *Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы. Труды Биогеохим. лаб.* – М.: Наука, 2003. – Т.24. – С.301–348.
36. Самохин В.Т. Профилактика обмена микроэлементов у животных. – Воронеж: изд.-во Воронежского гос. университета, 2003. – 136 с.
37. Самохин В.Т. Хронический комплексный гипомикроэлементоз и здоровье животных // *Ветеринария*, 2005. – №12. – С.3–6.
38. Скальный А.Б. Микроэлементы: бодрость, здоровье, долголетие. – М.: Эксмо, 2010. – 289 с.
39. Соболев А.В., Криволицкая Н.А., Кузьмин Д.В. Петрология родоначальных расплавов и мантийных источников магм сибирской трапповой провинции // *Петрология*, 2009. – Т.17. – №3. – С.276–310.
40. Соболева А.Н., В.В. Ермаков, С.Ф. Тютиков. Особенности аккумуляции меди и молибдена организмами в экстремальных геохимических условиях // *Проблемы биогеохимии и геохимической экологии*, 2007. – №2(4). – С.32–38.
41. Школьник М.Я., Макарова Н.А. Микроэлементы в сельском хозяйстве. – М.-Л.: изд.-во АН СССР, 1957. – 292 с.
42. Allen J.G., Masters H.G., Peet R.L. et al. Zinc toxicity in ruminants // *J. Comp. Pathol.*, 1983. – Vol.93. – №3. – P.363–377.
43. Anisimova M., Gabrashanska M., Daskalova A., Ermakov V., Tjutikov S. Trace element content in the hoat-parasite system in mouflons from Bulgaria // *Ecologica (Beograd)*, 2009. – Vol.26. – №53. – P.3–7.
44. Anke M. K. Iodine // *Elements and their Compounds in the Environment*. Eds. By E. Merian, M. Anke, M. Ihnat, M. Stoeppler. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2004. – Vol. 3. – P.1457–1495.
45. Anke M. The essentiality of Ultra Trace Elements for Reproduction and Pre- and Postnatal Development // *Trace elements in Nutrition of Children-II*. Chandra R.K., ed. Nestle Nutrition Workshop Series. – New-York: Nestec Ltd., Vevey/Raven Press, 1991. – Vol. 23.
46. Anke M. Essential and toxic effects of macro, trace, and ultratrace elements in the nutrition of animals // *Elements and their Compounds in the Environment*. Eds. By E. Merian, M. Anke, M. Ihnat, M. Stoeppler. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2004. – Vol.1. – P.305–341.
47. Anke M.K. Molybdenum // *Elements and their Compounds in the Environment*. Eds. By E. Merian, M. Anke, M. Ihnat, M. Stoeppler. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2004. – Vol.2. – P.1007–1037.
48. Bath G.F. Enzootic icterus – a form of chronic copper poisoning // *J. South African Veterinary*, 1979. – Vol.50. – №1. – P.3–14.
49. Beck M.A., Shi Q., Morris V.C., Levander O.A. Rapid genic evolution of a non-virulent coxsackievirus B3 in selenium-deficient mice results in selection of identical virulent isolates // *Nat. Med.*, 1995. – Vol.1. – №5. – P.433–436.
50. Cuvier G. Discours sur les revolutions de la surface du Globe //

- <http://evolbiol.ru/cuvier.htm>.
51. Delange F., de Benosi B., Pretell E., Dunn J.T. Iodine deficiency in the world: where do we stand at the turn of the century? // *Thyroid*, 2001. – Vol. 11. – P.437–447.
  52. Djenbaev B.M., Shamshiev A.B., Egemberdieva A.D., Ermakov V.V. Biogeochemistry of selenium in natural conditions of Kyrgyzstan // *Macro- and Trace Elements, Mengen- und Spurenelemente, 22 Workshop. Second Volume.* – Leipzig: Schubert-Verlag, 2004. – P.1582–1589.
  53. Djujić I.S., Josanov-Starkov O.N., Milovac M., Jankovic V., Djermanović V. Benefits of wheat naturally enriched with selenium use // *The Problems of Biogeochemistry and Geochemical Ecology*, 2006. – Vol. 1. – №1. – 11 p.
  54. *Elements and their Compounds in the Environment.* Eds. By E. Merian, M. Anke, M. Ihnat, M. Stoeppler. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2004. – Vol. 1–3.
  55. Ermakov V.V. Biogeochemical regioning problems and the biogeochemical selenium provinces in the former USSR // *Biol. Trace Element Res.*, 1992. – Vol. 33. – №3. – P.171–185.
  56. Ermakov V.V. Cadmium in the polymetallic biogeochemical provinces and health animal problems // *Cadmium in the Environment – Ecological and Analytical Problems. Special issue dedicated to Alina Kabata-Pendias for jubilee of 50 years of biogeochemical studies.* – Warszawa: Polska Akademia Nauk, 2000. – P.315–325.
  57. Ermakov V. Fluorine // *Elements and their Compounds in the Environment.* Eds. By E. Merian, M. Anke, M. Ihnat, M. Stoeppler. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2004. – Vol. 3. – P.1415–1421.
  58. Ermakov V.V. Selenic deficiency as a reflection of a desorganization of biosphere processes and its overcoming // *Ecologica*, 2007. – Vol. 14. – №14. – P.7–12.
  59. Ermakov V. Se deficiency and manifestation of Urov disease in East Siberia // *Cell Biology and Toxicology*, 2008. – Vol. 24. – №1. – P.80–81.
  60. Ermakov V.V. Biogeochemical aspects of the living matter anthropogenic evolution // *Ecologica*, 2008. – Vol. 15. – №16. – P.7–12.
  61. Ermakov V., Jovanovic L. Characteristics of selenium migration in soil-plant system of East Meshchera and Transbaikalia // *J. Geochemical Explor.*, 2010. – Vol. 107. – P.200–205.
  62. Ermakov V., Jovanovic L. Selenium deficiency as a consequence of human activity and its correction // *Journal of Geochemical Explor.*, 2010. – Vol. 107. – P.193–199.
  63. Ermakov V.V., Krechetova E.V., Dikareva A.V. and Dutov V.M. Natural-man-made and technogenic biogeochemical provinces enriched by fluorine // Anke M. ed. *Mengen- und Spurenelemente.* – Leipzig: Verlag Harald Schubert, 1998. – Vol. 18. – P.431–436.
  64. Golubkina N.A. The human selenium status in Russia. The Problems of Biogeochemistry and Geochemical Ecology, 2008. – №2. – P.20–27.
  65. *Iodine Study Worldwide. WHO Global Database on Iodine Deficiency.* Eds. By Bruno de Benoist et al. – Geneva: WHO, 2004. – 58 p.
  66. Jovanović L. Some aspects of geochemistry and biogeochemistry of selenium in Serbia. *The Problems of Biogeochemistry and Geochemical Ecology*, 2008. – №2. – P.15–19.
  67. Levander O.A., Beck M.A. Selenium and viral virulence // *Brit. Med. Bull.*, 1999. – Vol. 66. – №3. – P.528–533.
  68. Patching S.G., Gardiner P.H.E. Recent developments in selenium metabolism and chemical speciation: a review // *J. Trace Elements Med. Biol.*, 1999. – Vol. 13. – P.193–214.
  69. Roholm K. *Fluorine intoxication.* – Copenhagen-London: Nyt Nordsk Forlag. H.K. Lewis and Co. Ltd., 1937. – 364 p.
  70. WHO. *Fluorine and Fluorides. Hygienic criteria of the environment state 36.* – Geneva: World Health Organization, 1984. – P.3–114.
  71. WHO. *Fluoride // Trace elements in human nutrition and health.* – Geneva: World Health Organization, 1996. – P.187–195.
  72. Zaichick V., Zaichick S. Role of zinc in prostate cancerogenesis // *Mengen- und Spurenelemente*, 1999. – №19. – P.104–115.

## МЕДИЦИНСКАЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭЛЕМЕНТОЛОГИЯ КАК НОВЫЕ НАУЧНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В.Е. Зайчик

Медицинский радиологический научный центр, Обнинск, Россия, vezai@obninsk.com

### MEDICAL AND BIOLOGICAL ELEMENTOLOGY AS A NEW SCIENTIFIC DISCIPLINE: STATE AND PROSPECTS

V.E. Zaichick

Medical Radiological research center, Obninsk, Russia, vezai@obninsk.com

**Abstract.** All legitimate scientific disciplines are characterized by: 1) the clear definition of subjects of the study and its corresponding clear-cut name, 2) some accepted postulates, 3) set of research methods, 4) methods of quality control and processing of the obtained information, 5) specific terminology and definitions. The inaccuracies and uncertainties in Medical and Biological Elementology as a new scientific discipline are discussed and some corresponding statements are made. Another and no less important problem of Medical and Biological Elementology is the critical unsatisfactory reproducibility of data. The complex arrangements required for the harmonization of data acquired for studies are offered. Main strategic aims and tactical tasks of the new scientific discipline are outlined.

Исследованием элементного состава органов, тканей и жидкостей человека начали заниматься еще алхимики и, следовательно, этот раздел знаний имеет многовековую историю. В последние десятилетия число публикаций на тему содержания химических элементов (ХЭ) в тканях и жидкостях тела человека нарастает лавинообразно. Одна-

ко свое собственное название «Медицинская элементология» (лат. *medicina* от *medicus* – врачебный, лечебный и *elementum* – первоначальная простейшая составная часть сложного целого) эта научная дисциплина приобретает лишь в конце XX века. Следует отметить, что у истоков этого научного направления стояли наши выдающиеся

российские ученые В.И. Вернадский, А.П. Виноградов, А.И. Войнар, В.В. Ковальский и др. [1–3, 6].

### Предмет изучения медицинской элементологии

Предметом изучения медицинской элементологии является:

1. Изучение закономерностей содержания и распределения ХЭ в различных системах организма человека, органах, тканях, жидкостях, клетках, субклеточных структурах и биологических молекулах, в условиях постоянного контакта и обмена со средой обитания, с учетом пола, возраста, физиологических циклов, национальности, расы, профессии, социального статуса, бытовых традиций, образа жизни и вредных привычек индивида;
2. Определение роли и степени участия ХЭ в строительстве и нормальном функционировании жизненно важных систем организма на всех уровнях его организации в периоды зарождения, формирования, зрелости и инволюции, в условиях постоянного контакта и обмена со средой обитания;
3. Исследование адаптивных сдвигов в содержании ХЭ организма на всех уровнях его организации при изменении условий в среде обитания, экстремальных нагрузках и внешних воздействиях.
4. Выявление роли ХЭ в этиологии и патогенезе различных заболеваний, а также эффективности использования химических элементов при проведении корректирующих и лечебных мероприятий.

Таким образом, основными объектами изучения в этой новой научной дисциплине являются ХЭ и состояние организма человека, находящегося в непрерывной и тесной взаимосвязи с окружающей средой. Накопленная информация и логика суждения позволяют сформулировать основные постулаты (требования) медицинской элементологии.

### Постулаты медицинской элементологии

1. *Наличие химических элементов.* В биосфере, включая все среды обитания, содержатся все природные ХЭ, имеющиеся на нашей планете Земля (к настоящему времени таких насчитывается 91: всего известно 109 элементов из них 18 – искусственно полученные). Все живые организмы, включая человека, непрерывно поглощают из среды обитания определенные порции этой среды, из которых извлекаются продукты необходимые для поддержания жизни. Отсюда следует, что в живых организмах содержатся все ХЭ, имеющиеся в средах обитания, и, следовательно, на планете Земля.

2. *Дифференцированный гомеостаз.* Во всех живых организмах, включая человека, осуществляется дифференцированный гомеостаз ХЭ, т.е. на всех уровнях организации (внутренняя среда, органы, ткани, клетки и т.д.) содержание ХЭ, как правило, поддерживается на определенных уровнях. Эти уровни могут изменяться с возрастом и под воздействием различных экзогенных и эндогенных факторов. С дифференцированным гомеостазом связана

неравномерность распределения и различия в скорости обмена ХЭ в органах, тканях, жидкостях и других структурных образованиях организма.

3. *Вовлеченность химических элементов.* Поскольку процессы филогенеза и онтогенеза происходят в постоянном контакте живых организмов со всеми ХЭ сред обитания, ни один из земных ХЭ не может рассматриваться, как безучастный для организма и, тем более, быть обозначенным как чужеродный или ксенобиотик (от греческого: *xenos* – чужой, *biotos* – жизнь).

4. *Полезность химических элементов.* Гигантское разнообразие и специфичность биохимических реакций, протекающих в живых организмах, позволяет предположить, что Ее Величество Природа использовала все имеющиеся у нее средства, включая весь набор ХЭ, для их реализации. Такие характеристики как «полезность» или «бесполезность» для того или иного ХЭ определяются лишь текущим уровнем полученной информации о степени его вовлеченности в биохимические процессы. Наши знания в этой области пока еще остаются весьма ограниченными и мы являемся свидетелями того, что по мере приобретения новых данных круг биологически «полезных» химических элементов постоянно расширяется.

5. *Вредность химических элементов.* Вредное (токсическое) действие ХЭ определяется лишь уровнем его содержания в организме. Прав был Парацельс (*Paracelsus*, настоящее имя Филипп Теофраст Бомбаст фон Гогенгейм, 1493–1541), когда заключил, что ничто в природе не является ядом – любое натуральное вещество ядом делает только его доза. На рис. 1 представлена условная кривая зависимости уровня риска здоровью в зависимости от содержания ХЭ в организме, на которой выделены 4 зоны: дефицит (гипоэлементозы), норма (зона комфорта), избыток (гиперэлементозы) и сверхизбыток (токсикозы). Эта кривая имеет минимум в диапазоне концентраций ХЭ, при котором организм чувствует себя комфортно (норма). Чем шире этот диапазон, тем меньше вероятность случайного выхода за его пределы вследствие внешнего воздействия. Отсюда становятся понятными причины исторически сложившегося выделения ряда химических элементов как «токсические». К ним причисляют такие элементы, которые характеризуются узким диапазоном нормы и гиперэлементоза, и, следовательно, переход от комфортного состояния к острой токсической реакции происходит даже при незначительном избыточном поступлении ХЭ извне.

6. *Комбинаторность (сочетанность) влияния ХЭ.* Помимо абсолютных количеств химических элементов важное значение для жизнедеятельности имеют и их рекомбинации в общей совокупности. Это обусловлено синергизмом и антагонизмом взаимоотношений многих химических элементов. Мозаичность рекомбинаций ХЭ формируется в зависимости от специфического набора экзогенных (биогеохимические особенности региона, этнические предпочтения в питании и т.д.) и эндогенных (генетически обусловленных и приобретенных) факторов. Следует помнить, что организмы рождаются и развиваются под непрерывным воздействием свойств естественной колыбели, в которой формируется их элементный состав.

### Методы медицинской элементологии

Поскольку основной информационной единицей в медицинской элементологии является количественно выраженное содержание того или иного химического элемента в исследуемом биологическом объекте, становление этой научной дисциплины не возможно без наличия адекватного измерительного инструмента. Можно констатировать, однако, что только в последние десятилетия XX столетия появились действительно количественные и метрологически обеспеченные методы анализа содержания химических элементов в биологических объектах, которые позволили приступить к изучению содержания большого числа химических элементов в организме человека практически на всех уровнях его организации. Среди этих методов, прежде всего, следует упомянуть (используя международно-принятые аббревиатуры) такие спектральные методы, как атомно-абсорбционную спектрофотометрию – AAS, атомно-(оптическую)-эмиссионную спектрометрию с индуктивно связанной плазмой – ICP-AES (ICP-OES) и масс-спектрометрию с индуктивно связанной плазмой ICP-MS, ядерно-физические методы – инструментальный нейтронно-активационный анализ INAA, энерго-дисперсионный рентгенофлуоресцентный анализ EDXRF, протон (ядерными частицами) индуцированная рентгеновская эмиссия – PIXE, протон (ядерными частицами) индуцированная гамма-фотонная эмиссия – PIGE, рентгеновская эмиссия индуцированная синхротронным излучением – SRXRF, сочетание которых позволяет в инструментальном варианте (без предварительного концентрирования или сепарации) определять в биологических образцах до 60-ти и более химических элементов. Обычно для проведения анализа этими методами достаточно навесок массой 50–100 мг, но определение многих элементов возможно и при использовании миллиграммовых количеств вещества (материал пункционных и аспирационных биопсий, мазков, соскобов, а также микролитровые количества жидкости, например, капля крови из пальца, сока предстательной железы, пота, слюны малых слюнных желез, слез и т.д.). Возможность использования малых количеств материала очень важна и при исследовании некоторых образцов, получаемых биохимическими методами разделения: центрифугированием, хроматографией и т.д. Применение ядерно-физических методов (ЯФМ), например, таких как INAA, EDXRF и др., не только расширяет доступный определению круг химических элементов, но открывает широкие перспективы и дополнительные уникальные возможности изучения биологических объектов [4, 5, 11–15]. Эти методы не требуют разрушения и утилизации образца при проведении анализа, что делает ЯФМ наиболее надежными и придает им статус референтных. Помимо определения валовых количеств ХЭ, такие ядерно-физические методы, как электронно-зондовый рентгенфлуоресцентный микроанализ (EPXRMA), сканирующий PIXE и ионно-зондовая микроскопия с регистрацией вторичных ионов позволяет также исследовать и их распределение по морфологическим структурам. Абсолютной прерогативой ядерно-физических методов является возможность *in vivo* определения

содержания некоторых химических элементов в организме человека [11].

При проведении исследований в области медицинской элементологии любые дополнительные методы анализа должны обязательно сочетаться с основными методами.

К дополнительным методам можно отнести:

1. Все адекватные методы отбора и хранения биопроб, а также методы подготовки проб к проведению анализов.
2. Все методы органической, биологической и бионеорганической химии по сепарации и идентификации различных биоматериалов и макромолекул (центрифугирование, хроматография и т.д.).
3. Все эпидемиологические, физиологические и клинические методы оценки состояния здоровья как для популяции в целом, так и на уровне отдельного индивидуума, его органов, тканей, клеток и субклеточных структур.

### Контроль объективности информации

В любом определении науки как раздела человеческой культуры всегда особо подчеркивается необходимость получения объективных знаний. Критерий объективности знания – хорошая воспроизводимость результатов исследований. Для обеспечения этого в аналитической химии разработан комплекс мер по контролю за качеством ана-

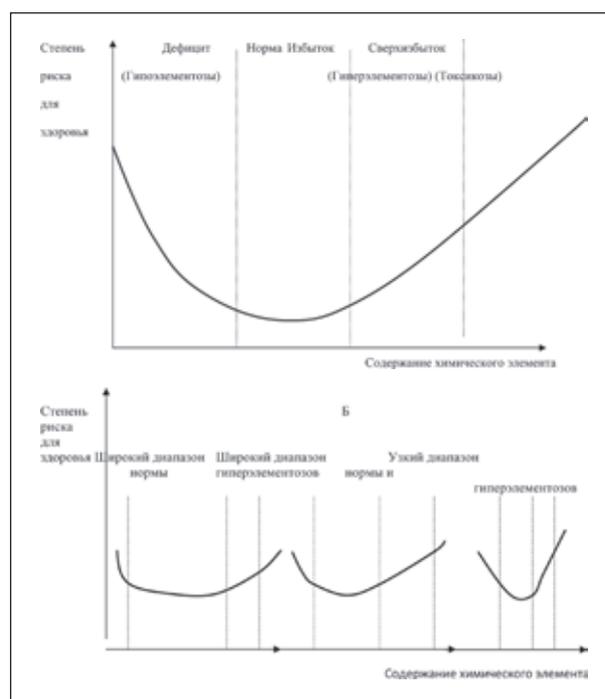


Рис. 1. А – Степень риска для здоровья в зависимости от содержания химического элемента (на шкале содержания выделено 4 диапазона). Б – Некоторые возможные вариации в ширине диапазонов «нормы» и «гиперэлементозов». Наличие у химического элемента узкого диапазона «нормы» и «гиперэлементозов» приводит к тому, что даже сравнительно небольшое избыточное его поступление извне вызывает острую токсическую реакцию организма

**Таблица 1.** Отношение максимального к минимальному среднему значению содержания химических элементов, полученных при анализе в разных лабораториях мира одних и тех же биологических образцов, приготовленных в МАГАТЭ в качестве будущих стандартных материалов сравнения

Диапазон отноше- ний макс./мин.	МАГАТЭ Волосы Человека IAEA Human Hair HH-1 [7]	МАГАТЭ Кровь животных IAEA Animal Blood A-13 [10]	МАГАТЭ Мышцы животных IAEA Animal Muscle H-4 [9]	МАГАТЭ Кость животных IAEA Animal Bone H-5 [8]
1,4–<2,0	Ag, F, Mg, Sr	Br, Cl, S	Cl, K, Na	–
2,0–<10	Ca, I, La, Mn, Na, Rb, S, Zn	Au, Ba, Ni, Rb, Sr	Ba, Br, Ca, Ce, Cs, Cu, Fe, Rb, S	Ba, Ca, F, Mo
10–<100	Al, Au, Ba, Br, Co, K, Ni, P, Sb, Se, Ti, V	Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mo, Na, P, Pb, Se, V, Zn	As, Cr, Hg, I, La, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sc, Se	K, Pb, Rb, S, Si, Sr
100–<103	As, Cd, Cl, Cu, Fe, Mo,	Ca, Cd, Co	Al, Cd, Co, Sb	Al, Cd, Cl, Mg, Na, Sb, Zn
103–<104	Cr, Hg,	As, Sb	Au	As, Br, Fe
104–<105	Pb	Hg, Mn	–	Cr, Mn, Ni, P, Se
105–<106	–	–	–	Co, Cu, Hg
>106	–	–	–	V

**Таблица 2.** Сопоставление диапазонов вариаций (отношение максимум/минимум) средних значений содержания химических элементов в костях здорового человека, обусловленных как аналитическими погрешностями (колонка 1), так видовой и индивидуальной вариабельностью (колонка 3 и 4), а также данных работы Зайчика В. [13] и Zhu et al. [16] (колонка 5)

(1) Диапазон отноше- ний max/min средних значений (шкала)	Сертифицированный материал сравнения	Различные ко- сти человека	Ребро человека	
	(2) Вариации об- условлены аналити- ческими погрешно- стями CRM IAEA H-5 Animal Bone [7, 12]	(3) Вариации об- условлены суммарно аналитическими погрешностями, видом кости и индивидуальной вариабельностью	(4) Вариации обуслов- лены суммарно аналити- ческими погрешно- стями и индивидуальной вариабельностью	(5) Уровень вариаций при сравнении данных работ Зайчика В. [13] Zhu et al. [16]
1,0–<1,1	–	–		Ca, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Na, P, Th, Y
1,1–<1,2	–	–		Zn
1,2–<1,3	–	–		Dy, K, Pb, Se
1,3–<1,5	–	–		Cl, Ga, Yb, Pt, Sc
1,5–<2,0	–	H		Al, Ba, Ce, Cs, Er, Mo, Nd, Pr, Sb, Sm, Ti, U, V
2,0–<10	Ba, Ca, F, Mo	Dy, Hf, Lu, N, O, Ta, Tl, Ra	Ca, Cl, Ga, Mg, Nb, P, S, Ti, U, Zn, Zr	Ag, Au, B, Be, Br, Cd, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Mn, Ni, Rb, S, Sn, Sr, Tb, Tl, Tm, Zr
10–<102	K, Pb, Rb, S, Si, Sr	Be, C, Cl, Er, Eu, Ga, Ho, I, Mg, Na, Nd, Po, Pr, S, Sm, Sn, Tb, Tm, Y, Yb	Al, As, B, Br, Cd, Ce, Cs, Cu, F, Fe, Hf, K, La, Mn, Na, Nd, Pr, Pt, Rb, Sb, Se, Sr, Tb, Th, V,	As, Bi, Co
102–<103	Al, Cd, Cl, Mg, Na, Sb, Zn	B, Ba, Cr, Cs, F, Hg, K, La, Ni, Sb, Th, Zn	Ag, Au, Ba, Bi, Cr, Dy, Er, Eu, Gd, Hg, Ho, Lu, Ni, Pb, Sc, Sm, Sn, Tl, Tm, Yb	–
103–<104	As, Br, Fe	As, Ca, Co, Fe, Li, P, Pb, Rb, Se, Si, Ti, V, Zr, Mo, Y	–	–
104–<105	Cr, Mn, Ni, P, Se	Ag, Al, Br, Cd, Cu, Mn, Mo, Sr, W	Co	–
105–<106	Co, Cu, Hg	Au, Sc	–	–
>106	V	U	–	–

лиза. Этот комплекс предусматривает регулярное внутрилабораторное мониторинговое качество, межлабораторный или внешний контроль (сертификация лабораторий), а также обязательное использование национальных или международных сертифицированных (стандартных) материалов сравнения (СМС). Необходимость проведения этих мероприятий в области медицинской элементологии узаконена Приказом Минздрава РФ №45 от 07.02.2000 г.

При отсутствии жесткого контроля за качеством измерений невозможно предполагать воспроизводимость результатов. Это заключение хорошо иллюстрирует один исторический пример. В конце 70-х – начале 80-х годов Международное агентство по использованию атомной энергии (МАГАТЭ), озабоченное плохой воспроизводимостью результатов анализа содержания химических элементов в биологических образцах, решило разработать ряд мероприятий по контролю качества измерений, включая создание СМС из натуральных биологических веществ. С этой целью большое количество биологических материалов (волосы человека, кровь, мышцы и кости животных и др.) высушивалось, гомогенизировалось и расфасовывалось в герметически закрытые контейнеры из полиэтилена. Часть каждого материала рассыпалась в ведущие аналитические лаборатории мира для количественного анализа на содержание химических элементов. Предполагалось, что средние значения содержания химических элементов, по которым будет наблюдаться приемлемая воспроизводимость результатов, будут приняты в качестве паспортных (сертификационных). Для паспортных элементов разработанные материалы сравнения должны были служить в качестве международных эталонов. Результаты оказались ошеломляющими. Обнаружилось, что при анализе одного и того же биологического образца на содержание одного и того же элемента данные, полученные в различных лабораториях, расходились на многие математические порядки (табл. 1).

Такой уровень расхождений результатов свидетельствовал о крайне плачевном состоянии аналитической культуры и стимулировал организацию во многих странах международных и национальных центров, специально нацеленных на разработку и обеспечение аналитических лабораторий широкой номенклатурой СМС, включая биологические.

Поэтому для обеспечения воспроизводимости результатов и возможности сопоставления результатов, полученных в разных лабораториях, необходимо в практике исследований в области медицинской элементологии сделать обязательным проведение оценки качества результатов анализа в соответствии с Приказом Минздрава РФ от 07.02.2000 №45. В каждом отчете или материале, представляемом к публикации или на обсуждение, должны непременно приводиться данные оценки метрологических характеристик использованных методик. Во избежание разночтений при описании метрологических характеристик (повторяемость, воспроизводимость, прецизионность, правильность, точность и др.) следует использовать единую терминологию соответствующую Государственному стандарту (ГОСТ ИСО 5725 – 2002), которая максимально

приближена к международной. Ввиду практического отсутствия отечественных стандартных материалов сравнения, необходимых для оценки правильности и точности результатов анализа содержания химических элементов в биологических образцах, рекомендовать использование международных и национальных СМС различных стран (США, Германии, Японии, Китая и др.), которые широко используются в международной аналитической практике. При этом матрица используемого СМС должна быть максимально приближенной к матрице исследуемого биологического объекта.

Другая сложность получения и накопления объективных знаний в медицинской элементологии связана с зависимостью содержания ХЭ в биологических объектах от многих экзогенных и эндогенных (состояние организма, возраст, пол, физиологические ритмы, национальность, индивидуальные привычки и т.д.) факторов. Обзор данных литературы о содержании химических элементов в костах здорового человека наглядно иллюстрирует огромную вариабельность накопленной информации (табл. 2). Однако, как следует из данных в той же таблице, эти вариации значений содержания химических элементов в наибольшей степени обусловлены допущенными аналитическими погрешностями.

Отсутствие учета основных экзогенных и эндогенных факторов в сочетании с плохим качеством анализа приводит к большому разбросу индивидуальных значений, что затрудняет объективную оценку и возможность практического использования получаемой информации. Для того чтобы постоянно учитывать возможность влияния основных факторов и нивелировать роль многочисленных второстепенных факторов необходимо проведение мероприятий нацеленных на: жесткий контроль за качеством измерений; регламентацию методологических подходов при планировании натуральных и экспериментальных исследований; унификацию способов отбора, хранения и подготовки к анализу биологических образцов; безальтернативное использование принятой Государственным стандартом системе единиц СИ (SI); формирование единообразных требований к выражению результатов исследований; обязательное выполнение необходимого объема статистической обработки цифровых данных; ревизию и правильное использование определений и терминов.

### Определения и термины

*Медицинская элементология*, как часть биологической (биотической) элементологии;

*Химический элемент*. Следует отказаться от всякой количественной классификации химических элементов, целиком привязанной к конкретному объекту исследования и потому вносящей лишь путаницу при каких либо обобщениях: макро-, микро-, ультрамикро-, следовые и т.д. Например, можно дать строгое определение микроэлементам крови, или костей, или почвы, но невозможно какие-то элементы отнести к микроэлементам биологических объектов вообще, поскольку в некоторых из них они могут содержаться в микро, а в других – в макро количе-

ствах. Целесообразно отказаться от всякой качественной классификации химических элементов и их определений: биоэлементы, биотики, атомовиты, эссенциальные, токсические и ксенобиотические элементы, биометаллы, органические металлы, металлы жизни, тяжелые металлы, эссенциальные тяжелые металлы, минералы, минеральные элементы и т.д.

*Эссенциальный, физиологический, токсический* – эти определения использовать только для характеристики количества (дозы) химического элемента, поступающего (вводимого) в организм, или для характеристики уровня его содержания в биологическом объекте.

*Биологический объект* – часть живой природы, ставшая предметом изучения (в медицинской элементологии: все тело, орган, ткань, жидкость, клетки, секреты, экскреты и т.д.).

*Биологическая среда* – биологическое окружение чего-либо. Отсюда следует, что волосы и ногти никак не могут быть отнесены к биологическим средам. В то же время, плазма и сыворотка крови, внеклеточная жидкость и лимфа как компоненты внутренней среды организма могут быть обозначены как биосреды.

*(Химический) элементоз* – вместо раннее введенного понятия микроэлементоз. Существование понятия микроэлементоз предполагает правомерность словообразования макроэлементоз или, например, ультрамикроэлементоз, что вносит только путаницу (также, как и условная количественная классификация химических элементов в биологических образцах). Замена прилагательного «химический» на название конкретного элемента дает четкое и ясное определение, например, цинковый элементоз, медный элементоз и т.д.

*Гипоэлементоз или гиперэлементоз* – для определения недостатка или избытка того или иного элемента. Отсюда образуются удобные и понятные словосочетания, например, цинковый гипоэлементоз или свинцовый гиперэлементоз.

*Элементный статус организма* – содержание ХЭ во всем теле или основных его пулах. Известно, что ХЭ неравномерно распределены по тканям, органам и жидкостям организма, при этом скорость обмена ХЭ в них разная. Например, 99% кальция и 95% свинца всего тела человека содержится в скелете, а примерно половина всего йода в щитовидной железе. Периоды полубыстрого обмена кальция в различных частях скелета измеряются месяцами, а свинца – годами и десятилетиями. Период полубыстрого обмена йода в щитовидной железе составляет около ста суток. Период же полубыстрого обмена всех этих элементов, например, в крови не превышает нескольких часов. Каким же образом можно говорить о кальциевом статусе организма, однократно измерив уровень кальция, например, в крови, о свинцовом статусе – определив свинец в пучке волос или о йодном статусе – оценив содержание йода в суточной моче? Только после того, как будет научно доказано наличие строгой

корреляции между общим количеством конкретного ХЭ в организме и его содержанием в какой-либо жидкости или ткани, обычно используемой в диагностических целях (кровь, моча, слюна, волосы, ногти и т.д.), можно будет по результатам исследования последних делать заключение о статусе химического элемента на уровне всего организма.

В качестве основной стратегической задачи медицинской элементологии можно считать получение новых фундаментальных данных, найденных на основе использования корректных методов исследования, и разработку новой парадигмы медицинских знаний, нового медицинского языка, позволяющего по информации о содержании химических элементов в организме человека получать дополнительные сведения об его состоянии. Логическим следствием этой стратегической задачи является разработка новых методов лечения и профилактики заболеваний, основанных на научно обоснованной коррекции произошедших в организме сдвигов элементного гомеостаза.

Первоочередными тактическими задачами медицинской элементологии следует рассматривать получение надежной информации о нормальных (т.е. характерных для здорового организма) диапазонах значений содержания всех доступных анализу химических элементов. При этом, первоочередное внимание должно быть уделено биологическим объектам, обычно используемым в диагностической практике: кровь цельная, плазма и клетки крови, моча, волосы, слюна, материалы тканевых биопсий и т.д. Эти данные должны быть получены для здоровых жителей России с учетом возрастной динамики, пола, функциональных, суточных и сезонных циклов, национальности, расы, а также геохимических особенностей региона проживания. Учет региона проживания можно начать с крупного деления по географическому признаку (Север и Юг Европейской части России, включая Северный Кавказ, Восточная Сибирь, Центральная Сибирь, Забайкалье, Западная Сибирь и Приморский край), по климатическому признаку (Север и Юг), по расположению над уровнем моря (равнинные и горные регионы) и по антропогенной нагрузке (промышленный город и сельская местность).

Как это ни парадоксально, но в России, в стране В.И. Вернадского – основоположника представлений о «единстве живого вещества и биосферы Земли», т.е. о всеохватывающем взаимодействии среды обитания и организма человека, до сих пор нет официально признанных референтных национальных значений (диапазонов значений) ни по одному из химических элементов ни для одной из жидкостей, тканей или органов тела человека.

Настала пора принятия судьбоносных решений для медицинской элементологии. Настала пора решительных, продуманных и скоординированных действий всех приверженцев этой новой, интересной, весьма перспективной и многообещающей научной дисциплины.

## Литература

1. Вернадский В.И. Живое вещество. – М.: Наука, 1978. – 358 с.
2. Виноградов А.П. Труды Биогеохимической лаборатории АН

СССР, 1935. – №3.

3. Войнар А.И. Биологическая роль микроэлементов в орга-

- низме животных и человека. – М.: Высшая школа, 1960. – 2-е издание. – 544 с.
4. Жербин Е.А., Зайчик В.Е. Некоторые аспекты применения активационного анализа в медицине. Материалы II совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народно-хозяйственных задач (Дубна, 1–4 декабря 1976 г.). – Дубна: ОИЯИ, 1976. – С.104–126.
  5. Зайчик В.Е. Радиоизотопный рентгенфлуоресцентный метод элементного анализа в клинической медицине. Материалы III совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народно-хозяйственных задач (Дубна, 12–15 сентября 1978 г.). Дубна: ОИЯИ, 1979. – С.234–246.
  6. Ковальский В.В. Геохимическая экология. Очерки. – М.: Наука, 1974. – 300 с.
  7. M'Vaku S.B., Parr R.M. Interlaboratory study of trace and other elements in the IAEA powdered human hair reference material, HH-1 // J. Radioanal. Chem., 1982. – Vol.69. – №1–2. – P.171–180.
  8. Parr R. Inter-comparison of minor and trace elements in IAEA animal bone (H-5). Progress Report №1. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 1982.
  9. Parr R. Inter-comparison of minor and trace elements in IAEA animal muscle (H-4). Report №2. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 1980.
  10. Psonicki L., Hanna A.N., Suschny O. Report on inter-comparison A-13 of the determination of trace elements in freeze dried animal blood (IAEA/RL/98). – Vienna: International Atomic Energy Agency, 1983.
  11. Zaichick V. Instrumental activation and X-ray fluorescent analysis of human bones in health and disease. // J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles, 1994. – Vol.179. – №2. – P.295–303.
  12. Zaichick V. Medical elementology as a new scientific discipline. // J. Radioanal. Nucl. Chem., 2006. – V.269. – P.303–309.
  13. Zaichick V. Data for the Reference Man: skeleton content of chemical elements. Radiat Environ Biophys, 2013. – №52(1). – P.65–85.
  14. Zaichick V., Ermidou-Pollet S., Pollet S. Bio- and medical elementology as a new scientific discipline. Fundamental Postulates. Proceedings of 5<sup>th</sup> Int. Sym. on Trace Elements in Human: New Perspectives (13–15 October 2005, Athens, Greece). Athens, 2005. – P.24–30.
  15. Zaichick V. Naginiene R. Medical and biological elementology as a new scientific discipline. In: Metals in the Environment. – Vilnius, Lithuania, 2007. – P.116–124.
  16. Zhu H. et al. Element Contents in Organs and Tissues of Chinese Adult Men. – Health Physics, 2010. – №98(1). – P.61–73.

## БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ РОЛЬ ПЛАНКТОНА – УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРЕДСТАВИТЕЛЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА ГИДРОСФЕРЫ

Г.А. Леонова, В.А. Бобров

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, leonova@igm.nsc.ru, bobrov@igm.nsc.ru

## BIOGEOCHEMICAL ROLE OF PLANKTON – THE UNIVERSAL REPRESENTATIVE OF THE LIVING MATTER OF THE HYDROSPHERE

G.A. Leonova, V.A. Bobrov

Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences

**Abstract.** The article focuses on methodology of studying biogeochemical processes proceeding in continental water bodies in Siberia with the involvement of plankton as a universal representative of the hydrosphere. The area of geochemical studies is featured where plankton is of certain interest as a geological matter due to its role in sedimentation. The primary distinction between sedimentation conditions in oceans and continental lakes is shown on the basis of which a method of quantitative calculation of the planktonogenic contribution of chemical elements into organic matter of lacustrine sediments has been suggested. The method permits “geochemical specialization” of recent lacustrine sediments to be revealed.

Великий натуралист и гениальный мыслитель Владимир Иванович Вернадский, пытаясь постичь суть мира в целом – «обнять природу единым исполинским объятием» [6, с.5], в 20-х годах прошлого века вводит понятие «живое вещество» как постоянно существующей планетарной совокупности организмов и рассматривает его как особую форму материи [4]. Понятие это синтетическое, сопоставимое с понятиями «средняя осадочная порода» или «средний состав литосферы» [2, с.9]. Живое вещество обогащено в сравнении с литосферой биофильными элементами [25], имеющими высокие показатели биофильности (отношение содержания элементов в живом веществе к их среднему содержанию в литосфере). Наиболее высокой биофильностью отличаются С (780), N (160), H (70), O (1,5),

Cl (1,1).

Какое же место в понятии «живое вещество» В.И. Вернадский отводит планктону? Он определяет планктон Мирового океана как один из самых грандиозных биоценозов нашей планеты [4]. Действительно, если учесть, что воды Мирового океана занимают две трети поверхности планеты, и водная толща до глубины около 500 м заселена планктоном – «...планктонная пленка по всей поверхности Океана» [5, с.31] – становится вполне очевидным космополитический характер его распространенности в гидросфере. Развивая идеи своего учителя, А.П. Виноградов пишет [7, с. 89]: «Чтобы понять всю глубину влияния, постарайтесь представить себе океан, не заполненным живым веществом – свободным от всех организмов. Вся картина

превращений в нем без живого вещества и без органического вещества совершенно бы изменилась».

Современные представления о геохимической роли планктона в Мировом океане развивают ведущие океанологи нашей страны – школа академика А. П. Лисицына. Его биофильтрационная (биоседиментационная) концепция «живого океана» принципиально изменила существующие ранее представления о седиментогенезе (осадкообразовании) в океанах и морях [23]. Долгие годы среди морских геологов была распространена точка зрения о преобладающем значении терригенного материала в процессах океанского осадкообразования. С особой четкостью она выражена академиком Н.М. Страховым [26, с.201]: «Приходится признать, что в океане геохимический процесс в целом есть, прежде всего, (на 90–93%) процесс физический, а еще точнее – механический, т. е. процесс механического разноса и фракционирования твердых фаз, поступивших с берега, аллохтонных; в весьма малой степени (6–9.2%) этот физический процесс осложнен биогенным...». Однако эта точка зрения пришла в противоречие с огромным фактическим материалом по составу и количественному распространению осадочного материала в водах морей и океанов. Исследования океанологов под руководством академика А.П. Лисицына, обоснованные тысячами анализов взвеси из всех частей Мирового океана, показали, что осадочный процесс в «живом океане» идет под определяющим воздействием живых организмов планктона и бентоса, которое удалось охарактеризовать числом и мерой во всем пространстве Мирового океана на всех глубинах и во времени [20–23]. Открытие решающего значения биоса на всех этапах океанского седиментогенеза можно причислить к одним из важнейших достижений науки конца XX столетия.

Планктон объединяет совокупность организмов, не способных к самостоятельному движению или с ограниченной подвижностью, и включает как растительные организмы – фитопланктон, так и животные – зоопланктон. Растительные фотосинтезирующие организмы фитопланктона нуждаются в солнечном свете и населяют поверхностные слои до глубины 50–100 м (фотический слой), зоопланктон же обитает в толще вод до глубины 300–500 м, совершая вертикальные суточные и сезонные миграции, обусловленные его пищевыми и физиологическими потребностями [14].

Главная часть органического вещества в океане продуцируется фитопланктоном в процессе фотосинтеза за счет углекислого газа и растворенных в воде биогенных элементов – азота, фосфора и калия. Ранее считалось, что только эта классическая триада Либиха (N, P и K) аккумулируется фитопланктоном, однако, в последние десятилетия установлено, что фитопланктон концентрирует более 50 необходимых ему биофильных элементов, которые захватываются микроводорослями из воды и переводятся из растворенных форм в биогенную взвесь [8].

Первичное синтезированное органическое вещество служит основным источником питания для организмов-фильтраторов зоопланктона, которые фильтруют воду безвыборочно, захватывая как объекты питания (биогенную взвесь бактерио- и фитопланктона), так и балластную тер-

ригенную взвесь. Масштабы биофильтрационной системы зоопланктона трудно переоценить – биофильтр зоопланктона отфильтровывает объем Мирового океана за 180 суток, т.е. за полгода [20]. Именно процесс биофильтрации приводит к очень быстрому выводу из водной толщи не только биогенного детрита, но и терригенной взвеси. Таким образом, планктонные организмы совершают огромную биогеохимическую работу, извлекая из океанской воды различные химические элементы, тем самым существенно изменяя её состав.

### **Осадкообразующая роль планктона в палеобассейнах, океанах и морях**

Рассмотрим ту область геохимических исследований, где планктон представляет несомненный интерес как геологический объект – его осадкообразующую роль.

Отмирающий планктон, как показано многими исследователями, служит источником органического вещества в донных осадках как современных, так и древних [10, 11, 16, 18, 22, 27 и др.].

Палеобассейны. Большинство ученых, поддерживающих гипотезу органического происхождения нефти, полагают, что основным исходным веществом для ее образования служил планктон, обеспечивающий наибольшую биопродукцию в морских палеобассейнах [10, 11, 13, 15, 24 и др.]. В юрских толщах Западной Сибири основными нефтематеринскими осадками считаются породы баженновской свиты, органическое вещество которых представлено почти исключительно сапропелевым планктоногенным материалом. Так, в работе А.Э. Конторовича [15] отмечалось, что количества биогенного кремнистого и углеродистого (планктоно- и бактериогенного) материала в разрезах баженновской свиты в центральной части бассейна превышает 50%. В вещественном составе отложений куонамского палеобассейна (морские сильнобитуминозные отложения нижнего-среднего кембрия), по данным Ф.Г. Гурари с соавторами [11], преобладает, как и в баженновской свите, планктоногенное коллоальгинитовое органическое вещество. Обзорную характеристику природы первичного биогенного материала (планктоно- и бактериогенного) среднелурских и нижнемеловых отложений Западно-Сибирской низменности дал Ю.Н. Занин с соавторами [13], однако он не считает работу по расшифровке природы биогенного материала законченной.

Морские планктоногенные отложения фанерозоя рассматриваются, с одной стороны, как нефтематеринские свиты [15, 24 и др.], с другой – как «металлоносные черные сланцы» [17 и др.]. На фоне обычных (нормальных) осадочных пород они выделяются, в частности, по резкому обогащению рядом микроэлементов, содержание которых возрастает по мере увеличения в породах количества органического углерода. Группа химических элементов, ассоциирующих с планктоногенным органическим веществом, наиболее четко устанавливается по результатам ИНАА и ААС представительных проб. По убыванию коэффициентов концентрации, вычисленных путем деления количества каждого элемента в битуминозных аргиллитах

**Таблица 1.** Сопоставление коэффициентов концентрации микроэлементов в битуминозных аргиллитах баженовской свиты Западно-Сибирской плиты и древнечерноморских сапропелевых илах по [28]

Баженовская свита												
Mo	U	C <sub>орг.</sub>	Zn	V	Ni	Cu	Ba	Co	Cr	Th	K	Mn
61	10,5	8,1	5,9	4,6	4,1	3,3	2,3	1,1	0,8	0,7	0,6	0,4
Древнечерноморские сапропелевые илы												
C <sub>орг.</sub>	U	Mo	V	Cu	Ni	Co	Zn	Cr	Th	K	Ba	Mn
4,7	4,5	2,5	2,2	1,7	1,4	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7

баженовской свиты и древнечерноморских сапропелевых илов на содержание его в глинистых сланцах [31] построен ряд микроэлементов (табл. 1), отражающий степень их накопления в планктоногенных отложениях [28]. Ряды микроэлементов близки между собой, в древнечерноморских сапропелевых илах не обнаруживается лишь накопления Zn и Ba.

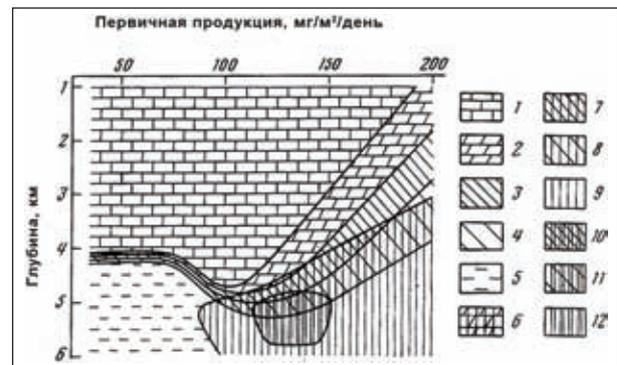
Близость микроэлементного состава фанерозойских планктоногенных отложений и древнечерноморских сапропелевых илов подтверждает неоднократно высказывавшееся предположение о том, что источником целого ряда микроэлементов, обогащающих эти древние осадочные отложения, была морская вода, из которой планктон концентрировал эти элементы [10].

**Моря и океаны.** В пелагических осадках морей и океанов зоны высоких абсолютных масс биогенного материала (кремнезема и карбоната кальция) совпадают с зонами высокой продуктивности фитопланктона – так называемыми пятнами «сгущения жизни» в океанской толще воды [3, 8]. Распределение основных вещественно-генетических типов современных пелагических донных осадков Тихого океана, отражающих интенсивность биологических процессов (первичная продукция фитопланктона – C<sub>орг.</sub>) хорошо иллюстрируется рис. 1 по [3]. Для Тихого океана свойственна единая структура биогенной дифференциации осадочного материала. Зона пелагического седиментогенеза Тихого океана характеризуется исключительно малыми скоростями поступления терригенного вещества. В составе пелагических осадков резко преобладает биогенный осадочный материал, состав которого определяется биогенной дифференциацией – многообразием процессов фракционирования осадочного материала при мобилизации живыми организмами и последующей миграции ко дну (как по пищевым цепям, так и при пассивной седиментации биогенных компонентов) и на океанском дне вплоть до момента захоронения в донных осадках.

Исследования состава и распределения карбонатного вещества в водах океана, а также в донных осадках позволяют считать, что доминирующей формой карбонатов является биогенная форма [2]. Особенно большое значение в связывании элементов в карбонаты и в образовании потока карбонатного вещества играют организмы планктона – кокколитофориды, фораминиферы, птероподы, остракоды и др. На их долю приходится более 80% накапливающегося на дне морей и океанов карбонатного материала. Подавляющая часть карбонатов в океане – это карбонаты кальция (с минеральными формами кальцита и арагонита).

В состав карбонатов, входят также и многие микроэлементы – Zn, Pb, Cu, Al, Cd и др. [22].

Биогенной формой кремнезема в пелагических осадках морей и океанов является биогенный опал, главным образом скелеты радиолярий, диатомовых водорослей, силикофлагеллят. В Мировом океане главная роль в связывании из воды растворенного кремнезема (в виде кремниевой кислоты – Si(OH)<sub>4</sub>) и затем при отложении на дно биогенного кремнезема (в основном опала – SiO<sub>2</sub>) принадлежит диатомовым водорослям: именно они дают более 90% современного кремнезема. На втором месте стоят радиолярии, на третьем – силикофлагелляты. В океанской толще воды до глубины 5000 м среди кремнистого материала преобладает биогенный опал, а ниже ведущее значение приобретают слоистые силикаты. Снижение потока биогенного опала с глубиной связано с его постепенным растворением. Кремневые панцири диатомей или скелеты радиолярий растворяются по мере оседания из



**Рис. 1.** Модель распределения основных вещественно-генетических типов современных пелагических донных осадков Тихого океана в зависимости от первичной продукции фитопланктона (C<sub>орг.</sub>) и глубины по [3]; 1 – осадки сильноизвестковые (более 70% CaCO<sub>3</sub>), 2 – известковые (50–70% CaCO<sub>3</sub>), 3 – известковистые (30–50% CaCO<sub>3</sub>), 4 – слабоизвестковистые (10–30% CaCO<sub>3</sub>), 5 – красные глубоководные глины (менее 10% CaCO<sub>3</sub> и менее 10% SiO<sub>2(аморфн)</sub>), 6 – слабокремнисто-известковые (50–70% CaCO<sub>3</sub>, 10–30% SiO<sub>2(аморфн)</sub>), 7 – слабокремнисто-известковистые (30–50% CaCO<sub>3</sub>, 10–30% SiO<sub>2(аморфн)</sub>), 8 – слабокремнисто-слабоизвестковистые (10–30% CaCO<sub>3</sub>, 10–30% SiO<sub>2(аморфн)</sub>), 9 – слабокремнистые (менее 10% CaCO<sub>3</sub>, 10–30% SiO<sub>2(аморфн)</sub>), 10 – кремнисто-известковистые (30–50% CaCO<sub>3</sub>, более 30% SiO<sub>2(аморфн)</sub>), 11 – слабоизвестковисто-кремнистые (10–0% CaCO<sub>3</sub>, более 30% SiO<sub>2(аморфн)</sub>), 12 – кремнистые (менее 10% CaCO<sub>3</sub>, более 30% SiO<sub>2(аморфн)</sub>)

поверхностной зоны и, следовательно, доля кремнезема, попадающая в осадки, существенным образом зависит от глубины [22].

### **Осадкообразующая роль планктона в континентальных озерах**

Если биогеохимическая роль планктона в морях и океанах изучена достаточно полно, то в континентальных водоемах (реки, водохранилища, озера) она почти не исследована. Существуют определенные причины, объясняющие этот пробел в знаниях, и, в первую очередь, тот факт, что седиментогенез в озерах изучен не так детально, как океанский, вследствие чего и биогеохимическая роль континентального планктона в этом процессе оказалась “за кадром”. Кроме того, и сама роль планктона в геохимических процессах, протекающих в различных типах континентальных водоемов (реки, водохранилища, озера) зачастую отходит на второй план и не выражена так однозначно и фундаментально, как в океане, где планктон господствует в деятельном слое пелагиали, по биомассе значительно превосходя другие группы гидробионтов, вместе взятые.

В водотоках, например реках и верхних участках водохранилищ, фитопланктон не развивается в массовых количествах из-за высоких скоростей течения, а у организмов-фильтраторов зоопланктона в результате высокой мутности воды забивается фильтрационный аппарат неорганической взвесью, что приводит к массовой гибели рачков. По этой причине в реках (за исключением устьевых участков) и на верхних проточных участках водохранилищ биоседиментационная роль планктона проявляется слабо, уступая место абиотическим факторам, например, литодинамическим (осаждение речной терригенной взвеси под действием гравитационных сил). Более отчетливо роль планктона может проявляться на нижних озеровидных участках водохранилищ, где формируется лимнический (озерный) комплекс планктонных сообществ, довольно обильный по численности и биомассе в летние месяцы, но и здесь биогенный фактор (планктон) играет подчиненную роль в седиментационных процессах по сравнению с литодинамическим фактором.

Однако существует определенный тип континентальных водоемов – малые озера, где планктон может играть ведущую роль в образовании биогенных донных осадков. Но для того, чтобы та или иная группа планктонных организмов приняла заметное участие в формировании биогенных осадков, она должна, во-первых, иметь условия для нормального развития в водоеме (высокая первичная продукция), а во-вторых, сохраняться в донных отложениях [16].

Диатомовые водоросли в озерах умеренных и высоких широт могут при определенных условиях образовывать осадки биогенного происхождения – диатомовые илы, состоящие преимущественно из аморфной кремниевой кислоты ( $\text{SiO}_2$ ), как, например, в глубоководных озерах Байкал [9] и Кристалл штата Висконсин [29]. К.К. Вотинцев [9] показал, что при формировании кремнеземистых осадков оз. Байкал органическая часть отмирающего планктона разлага-

ется в водной толще, а большая часть кремнезема створок увлекается на дно. Согласно данным анализа материала седиментационных ловушек, установленных в южной и северных котловинах оз. Байкал в конце 1995 г., 50 % материала – биогенный кремнезем, а содержание органического углерода составляет всего 6,5 % [32]. В малых озерах, как правило, не отмечается образования диатомовых илов, поскольку холодолюбивые диатомовые водоросли обитают преимущественно в крупных проточных, хорошо аэрируемых, холодных или умеренно теплых водоемах.

*Синезеленые водоросли (цианофицеи)*. Об илообразующем значении синезеленых водорослей имеется большая литературная сводка, приведенная в работе Н.В. Кордэ [16]. Донные осадки, богатые цианофицеями, содержат значительное количество неразложившегося органического вещества. Цианофицейные сапропели, как правило, откладывались в теплые климатические периоды. Не случайно, что и более древние ископаемые породы, содержащие остатки цианофицей, представлены углями и горючими сланцами [12]. Согласно мнению И.Л. Кузина [18], с жизнедеятельностью синезеленых водорослей связано образование самых древних осадочных пород Земли – железистых кварцитов, возраст которых – архей-протерозой-ранний фанерозой (начало кембрия). В современное время цианофицейные сапропели образуются в озерах, находящихся на стадии старения. Эти озера мелкие, их озерная ванна почти полностью заполнена осадками, широкое кольцо сплавин не допускает достаточного подтока минеральных компонентов, развитие других групп водорослей тормозится. Цианофицейные сапропели формируются в настоящее время в озерах Духовое и Котокель (Южное Прибайкалье) [19].

*Ракушковые рачки (остракода)* принимают участие в формировании осадочных известковистых пород. Так, по данным З.С. Бронштейн *Cyprideis pedaschenkoi* в огромном количестве накапливается в глубинах оз. Иссык-Куль (ссылка по [16]). В толще сапропелевых отложений створки ракушковых рачков обычно приурочены к известковистым слоям. Значительные количества створок остракод в отложениях указывают на довольно высокий уровень минерализации бывшего водоема и на присутствие в воде карбонатов [16].

### **Геохимическая характеристика сапропелей планктоногенной природы, формирующихся в отдельных озерах сибирского региона**

Наибольший интерес для авторов настоящей статьи представляют осадки малых озер, содержащие более 50 % органического вещества (т.е. собственно сапропели по классификации Н.В. Кордэ [16]). В малых озерах сибирского региона в настоящее время формируются два биологических типа сапропелей: планктоногенный – основным продуцентом органического вещества сапропелей является планктон и макрофитогенный – основным продуцентом органического вещества сапропеля являются макрофиты (водные растения). По нашему предварительному заключению, различия природно-климатических и ландшафтно-

**Таблица 2.** Элементный состав планктона (продуцента органического вещества) и верхних горизонтов планктоногенных сапропелей малых озер, мг/кг (%) сухой массы

Химический показатель	оз. Кирек (центр. часть)		оз. Очки		оз. Духовое	
	зоопланктон	сапропель	зоопланктон	сапропель	фитопланктон	сапропель
1	2	3	4	5	6	7
Зольн.,%	–	47	–	27,6	–	28,2
Na, %	1,02	0,103	0,646	0,31	0,38	0,21
Mg, %	0,16	0,50	0,095	0,21	0,23	0,26
Al, %	0,03	–	0,097	1,91	0,28	1,77
P, %	1,59	0,88	1,04	0,154	0,45	–
K, %	0,57	1,8	0,0325	0,198	0,64	0,36
Ca, %	0,74	3,8	0,0448	0,433	0,88	0,86
Sc	0,021	1,8	0,16	3,86	–	5,4
Ti, %	0,0013	0,16	0,0054	0,081	0,011	0,12
Cr	7,5	15	30	26	7,0	32
Mn, %	0,017	0,69	0,0072	0,095	0,026	0,038
Fe, %	0,042	16	0,113	0,67	0,57	2,7
Co	0,24	6	0,6	4,9	0,05	11
Ni	0,5	26	4	18	4,8	34
Cu	13,8	66	12	25	11	32
Zn	80	90	118	75	112	78
As	0,8	92	1,2	3,5	1,1	4
Br	220	140	49	16	–	88
Rb	3,5	25	21	15	6,4	34
Sr	58	130	19,6	62	155	110
Y	0,068	9	0,38	8	1,3	14
Zr	0,1	30	0,2	47	–	52
Nb	0,023	1,8	0,13	3	0,29	2,4
Mo	0,48	7	0,42	1,2	1,56	2,1
Cd	0,22	0,5	1,8	0,47	0,3	0,37
Sn	0,28	–	0,01	1,3	4,3	0,9
Sb	0,4	–	0,69	1,3	0,46	3,3
Cs	0,029	1	0,19	–	0,21	1,4
Ba	34	125	43	146	54	202
La	0,51	4,2	0,55	10	2,24	15
Ce	0,22	10,5	0,98	21	4,97	32
Pr	0,057	–	0,077	2,7	0,53	4
Nd	0,081	–	0,45	9	1,76	13
Sm	0,014	1,2	0,1	2	0,303	2,38
Eu	0,005	0,22	0,018	0,42	0,066	0,51
Gd	0,02	–	0,076	1,8	0,33	2,51
Tb	0,002	0,17	0,013	0,27	0,045	0,35
Dy	0,014	–	0,05	1,2	0,24	1,89
Ho	0,003	–	0,011	0,24	0,047	0,39
Er	0,008	–	0,032	0,67	0,14	1,16
Tm	0,001	–	0,005	0,1	0,021	0,19
Yb	0,008	0,8	0,046	0,97	0,13	1,2

**Продолжение таблицы 2.**

1	2	3	4	5	6	7
Lu	0,001	–	0,007	0,14	0,02	0,18
Hf	0,011	0,57	0,028	0,88	0,05	0,55
Hg	0,024	–	0,12	0,047	0,04	0,040
Pb	17,6	25	7,9	61	5,96	13,8
Th	0,02	1,3	0,14	3,4	0,54	3,8
U	–	1,0	0,088	1,29	2,5	14,8

Примечание: Pb, Cd, As определяли методом ААС (аналитик В.Н. Ильина); Hg – методом холодного пара (аналитик Ж.О. Бадмаева); Ca, Mg, Ba, Sr, Na, K, Al, P, Fe, Mn, Ti, Cr, Zn, Cu, Sb – ИСП-АЭС (аналитик Л.Б. Трофимова); редкоземельные элементы – ИНАА (аналитик В.А. Бобров) и ИСП-МС (аналитики И.В. Николаева, С.В. Палесский).

геохимических условий в Восточной и Западной Сибири обуславливают формирование в малых озерах Южного Прибайкалья в настоящее время преимущественно планктоногенных сапропелей (озера Духовое, Очки, Котокель), а в озерах Западной Сибири (за исключением заболоченных северных районов Новосибирской области) – макрофитогенных сапропелей (озера Белое, Большие Тороки, Минзелинское). В данной статье мы не будем касаться вопроса формирования и геохимической характеристики макрофитогенных сапропелей, а остановимся только на сапропелях планктоногенной природы.

Объектами наших исследований стали вскрытые бурением в трех озерах разрезы сапропелевых толщ, сформировавшихся в период голоцена (12 000 л.н.). Два озера в Южном Прибайкалье: оз. Очки (координаты бурения скважины 51° 29' с.ш., 104° 52' в.д.) и оз. Духовое (координаты бурения скважины 53° 18' с.ш., 108° 53' в.д.), а также оз. Кирек на юге Томской области (56° 10' с.ш., 84° 22' в.д.). Бурение скважин проводилось под руководством д.г.-м.н. С.К. Кривоногова в летнее время с понтона с использованием оригинальной буровой установки. Методом ударного бурения получены ненарушенные керны сапропелей диаметром 7,5 см и длиной от 3,5 до 7 метров в разных озерах.

Подготовленные по единой методике образцы сапропелей проанализированы комплексом современных высокочувствительных методов анализа в аккредитованном Аналитическом центре Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН и в лабораториях Сибирского научного центра, имеющих международные сертификаты. Корректность результатов подтверждена хорошей сходимостью аналитических данных, полученных разными методами анализа и внутрилабораторным контролем качества измерений с использованием Государственных стандартных образцов (травосмесь СВМТ-02) [1] и байкальский ил БИЛ-1) [30].

На основании полученных аналитических данных (табл. 2) и с учетом биопродуцентов органического вещества установлено, что в оз. Кирек в его центральной части (глубина 7 м), где отсутствуют макрофиты, в настоящее время формируется планктоногенный высокожелезистый низкокальциевый сапропель (Fe ~ 16%, Ca ~ 3,8%, зольность ~ 47%, общее органическое вещество (ОВ) ~ 53%).

В оз. Очки с ультрапресными термальными холодными водами сульфатного класса в настоящее время происходит формирование планктоногенного низкожелезистого

низкокальциевого сапропеля (Fe ~ 0,67%, Ca ~ 0,43%, зольность ~ 27%, ОВ ~ 73%). Сходный низкожелезистый (Fe ~ 2,7%) низкокальциевый (Ca ~ 0,67%) низкозольный (~ 28%) сапропель образуется также в оз. Духовое с гидрокарбонатным классом вод.

**Планктон как индикаторный объект экологического мониторинга состояния водных экосистем**

В основе индикационных свойств живых организмов, в том числе планктонных, лежит универсальное для всего живого вещества свойство – его концентрационная функция [5]. Значительная изменчивость видового состава смешанного (тотального) планктона и соответственно трудности сопоставления результатов элементного состава его отдельных группировок, а также трудоемкость сбора планктонных проб зачастую препятствуют широкому применению планктона как объекта биогеохимического мониторинга. Как правило, концентрации элементов в тотальном (смешанном) планктоне испытывают значительные вариации, которые зависят от соотношения биомасс отдельных видов в пробе, массовых долей фито- и зоопланктона и сезона отбора планктонной пробы. В этой связи не рекомендуют использовать смешанный планктон в качестве биогеохимического индикатора медленных трендов изменения элементного состава природных вод [7].

Более эффективно индикаторные возможности смешанного планктона проявляются при выявлении кратковременного загрязнения водной среды тяжелыми металлами от локальных источников (залповые сбросы сточных

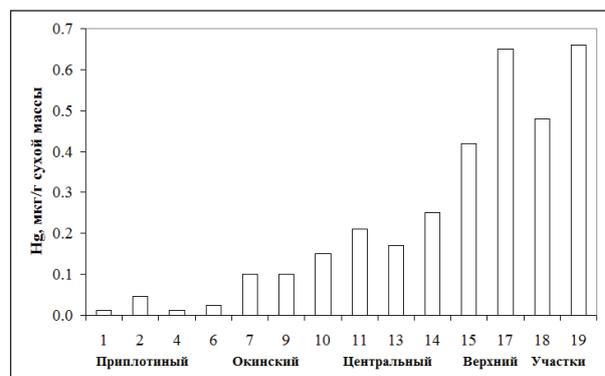


Рис. 2. Пространственное распределение Hg в зоопланктоне Братского водохранилища

вод предприятий, разливы горюче-смазочных веществ и пр.), т.е. для текущего загрязнения. Опробование планктона для этих целей более информативно, чем опробование донных осадков, поскольку не только абсолютные концентрации металлов в планктоне, но и коэффициенты обогащения (после нормирования на скандий) сохраняют повышенные значения, тогда как донные осадки проявляют в этом случае нечувствительность [19].

Планктонные организмы также могут использоваться для выявления краткосрочных загрязнений водной среды короткоживущими техногенными радионуклидами. Например, представители зоопланктона родов *Copepoda*, *Amphipoda* и *Decapoda* показали себя чувствительными индикаторами на весь спектр техногенных радионуклидов в районе действия предприятий ядерно-топливного цикла [19].

В систему экологического мониторинга водоемов региона Сибири планктон введен авторами в 1992 г. На основе данных биогеохимической индикации состояния водной среды выявлены техногенно-трансформированные водоемы и идентифицированы локальные источники их загрязнения [19]. Одним из наиболее ярких примеров реализации биогеохимического подхода для выявления зон экологического бедствия является участие авторов в экспертной оценке степени ртутного загрязнения экосистемы Братского водохранилища. Повышенные относительно фона в 3–5 раз концентрации Hg в планктоне (рис. 2) верхнего участ-

ка водоема, подтвержденные независимой экспертизой в Свободном Брюссельском университете, послужили основанием для остановки в 1998 г. цеха ртутного электролиза на комбинате «Усольехимпром».

В данном сообщении раскрыта лишь малая часть теоретических, методических и прикладных основ использования микроэлементного состава планктона для понимания сути биогеохимических процессов, протекающих в континентальных водоемах с его участием. Одной из наиболее сложных и важных составляющих нашего исследования по глобальной оценке биогеохимической роли планктона как наиболее универсального представителя живого вещества гидросферы является методическая часть, с учетом того, что геохимическое опробование и анализ такого специфического объекта, как планктон, на сегодняшний день окончательно и однозначно не отработаны. Однако авторам удалось корректно решить некоторые принципиальные вопросы методического характера, в том числе получения монотонных («чистых») с малой долей терригенной примеси сетных проб как морского, так и континентального планктона. Контроль отсутствия терригенной компоненты в анализируемых планктонных образцах осуществляли с помощью сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионной спектроскопией.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 02-05-64638, 04-05-65168, 08-05-00392, 11-05-00655, 11-05-12038-офи-м).

## Литература

1. Арнаутов Н.В. Стандартные образцы химического состава природных минеральных веществ. – Новосибирск: Изд-во ин-та геологии и геофизики СО АН СССР, 1990. – 219 с.
2. Биогеохимия океана / Под ред. А.С. Моница, А.П. Лисицына. – М.: Наука, 1983. – 368 с.
3. Богданов Ю.А., Гурвич Е.Г., Лисицын А.П. О современном пелагическом процессе в Тихом океане // ДАН СССР, 1979. – Т.247. – №2. – С.429–433.
4. Вернадский В.И. Живое вещество в химии моря. – Пг., Научн. хим.-техн. изд., 1923. – 36 с.
5. Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии // Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, 1980. – Т.16. – 320 с.
6. Вернадский В.И. Фотоальбом / составитель В.С. Неаполитанская. – М.: Планета, 1988. – 239 с.
7. Виноградов А.П. Введение в геохимию океана. – М.: Наука, 1967. – 212 с.
8. Виноградов М.Е., Лисицын А.П. Глобальные распределения жизни в океане и их отражение в составе донных осадков. Закономерности распределения планктона и бентоса в океане // Изв. АН СССР. Сер. Геол., 1981. – №3. – С.67–85.
9. Вотинцев К.К. Гидрохимия озера Байкал. – М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1961. – 311 с.
10. Гурари Ф.Г., Гавшин В.М. Планктоногенные отложения фанерозоя как показатель устойчивости содержания в морской воде редких и радиоактивных элементов // Эволюция осадочного процесса на континентах и океанах. – Новосибирск: Изд-во ИГиГ СО АН СССР, 1981. – С.207–208.
11. Гурари Ф.Г., Гавшин В.М., Матвиенко Н.И. и др. Геохимия микроэлементов в морских планктоногенных отложениях нижнего-среднего кембрия Сибирской платформы // Ассоциация микроэлементов с органическим веществом в осадочных толщах Сибири. – Новосибирск, 1984. – С.41–69.
12. Залесский М.Д. О морском сапропелите силурийского возраста, образованном синезеленой водорослью // Изв. Импер. Академии наук, 1917. – Сер. VI. – №1. – С.3–18.
13. Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Лившиц В.Р., Эдер В.Г. О роли скелетного и бесскелетного биогенного материала в формировании органического вещества баженовской свиты // Геология и геофизика, 2008. – Т.49. – №4. – С.357–366.
14. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. – Л., 1969. – Т.1. – 625 с.
15. Конторович А.Э., Полякова И.Д., Трушков П.А. и др. Геохимия мезозойских отложений нефтегазоносных бассейнов Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1971. – 86 с.
16. Кордэ Н.В. Биостратиграфия и типология русских сапропелей. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 219 с.
17. Краускопф К. Осадочные месторождения редких металлов // Проблемы рудных месторождений. – М.: ИЛ, 1959. – С.388–440.
18. Кузин И.Л. О геологической роли синезеленых водорослей и природных условиях докембрия // Известия РГО, 2007. – Т.139. – Вып.2. – С.48–64.
19. Леонова Г.А., Бобров В.А. Геохимическая роль планктона континентальных водоемов Сибири в концентрировании и биоседиментации микроэлементов. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2012. – 308 с.
20. Лисицын А.П. Распределение и химический состав взвеси в водах Индийского океана // Океанологические исследования. – М.: Наука, 1964. – С.173–184.
21. Лисицын А.П. Осадкообразование в океанах. – М.: Наука, 1974. – 440 с.
22. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. – М.: Наука, 1978. – 391 с.
23. Лисицын А.П. Потоки осадочного вещества, природные

- фильтры и осадочные системы «живого океана» // Геология и геофизика, 2004. – Т.45. – №1. – С.15–48.
24. Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. – Л.: Недра, 1982. – 208 с.
25. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1979. – 380 с.
26. Страхов Н.М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. – М.: Наука, 1976. – 299 с.
27. Потонье Г. Сапропелиты // Нефтяное и сланцевое хозяйство / Пер. с нем. под ред К.П. Калицкого и Н.Ф. Погребова. – Петроград: Изд-во Народного Комиссариата путей сообщения, 1920. – 209 с.
28. Третьяков Г.А., Гаевшин В.М. Геохимическая специфика планктоногенных осадков как отражение микроэлементного состава морской воды // Ассоциация микроэлементов с органическим веществом в осадочных толщах Сибири. – Новосибирск, 1984. – С.16–21.
29. Conger P.S. The contribution of diatoms to the sediments of Crystal Lake Vilas-Country, Wisconsin Amer. // J. Sci., 1939. – V.237. – №5. – P.132–139.
30. Govindaraju K. Compilation of working values and description for 383 geostandards // Geostandards Newsletter, 1994. – №18. – P.1–158.
31. Li Yuan-hui. Distribution patterns of the elements in the ocean: A synthesis // Geochim. Et. Cosmochem. Acta., 1991. – V.55. – P.3223–3240.
32. Muller B., Maerki M., Schmid M. et al. Internal carbon and nutrient cycling in Lake Baikal: sedimentation, upwelling, and early diagenesis // Global and Planet. Change., 2005. – V.46. – P.101–124.

## ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА КАК ОСНОВА ДЛЯ РАЗВИТИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ГЕОЛОГИИ

Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

### CHEMICAL ELEMENTS IN HUMAN BODY AS THE BASIS FOR DEVELOPMENT OF MEDICAL GEOLOGY

L.P. Rikhvanov, N.V. Baranovskaya

Research Tomsk Polytechnic University, Russia

**Abstract.** This article presents the modern conceptions about formation of new scientific direction – medical geology. There are presented the results of analytic researches by the instrumental neutron activation analysis of elemental composition of ash residue of human body. The most full researches of ash residue of human body were held in the following regions of Russia: Novokuznetsk, Novosibirsk, Rostov-on-Don and Saint Petersburg.

The living substance, including the human biosubstance, organs and tissues, as well as the whole human body, reflect the following characteristics:

- geological and geochemical heterogeneity of Earth's crust;
- quality of potable water;
- atmosphere and dietary intake;
- peculiarities of technogenesis, which specific character appears in each individual region.

Taking into account the regional and other peculiarities, the knowledge about exact quantitative elemental composition of human can cause more efficient activities of correction of human and animals health, and early prophylaxis of various diseases.

Томское региональное отделение Российского геологического общества (ТРО РОСГЕО) активно развивает выполнение научных исследований по новому направлению «Медицинская геология».

Медицинская геология по определению Олле Селинуса [1] – это наука о взаимосвязи между природными геологическими явлениями и здоровьем людей и животных. Из данного определения следует, что это направление не рассматривает взаимосвязь здоровья человека и животных с факторами техногенеза как специфической геохимической системы, особенности которой обусловлены деятельностью человека.

В настоящее время техногенез по масштабам проявления сравнялся, а в некоторых случаях и превзошел, природные геологические процессы, особенно в геохимическом аспекте. Анализируя особенности заболевания человека в таких горнорудных районах, как Урал, рассматривать структуру и частоту заболеваемости, особенности

протекания заболеваний только с позиции природных факторов абсолютно недостаточно. Наряду с изначальными природными (особенности химического состава пород, слагающих структуру региона, тектонические особенности строения, особенности геофизических и геохимических полей и др.) главенствующими факторами воздействия на здоровье человека являются факторы техногенеза, которые отражаются в суммарных показателях загрязнения природных сред (СПЗ), в том числе СПЗ почв, вод и других сред. Ярким подтверждением этому являются материалы докторской диссертации Л.Н. Белан по восточному склону Урала (в пределах территории Республики Башкирия) [2]. Выполненный исследователем анализ показал наличие связи как природных геологических, так и техногенных (экологических) факторов и здоровья населения, проживающего на этой территории. В связи с этим авторы считают, что медицинская геология должна включать в область своих интересов и районы с интенсивным проявлением

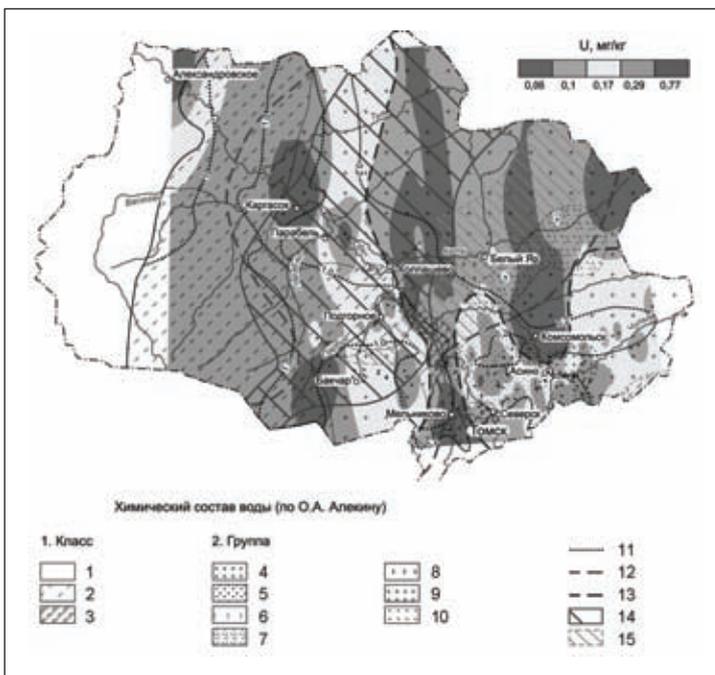
техногенеза, который трансформирует среду обитания человека, усиливая протекание тех или иных природных геохимических процессов.

Прежде всего нарушения в системе «био и гео» фиксируются на изменении уровней накопления химических элементов в живом веществе, функционирующем в той или иной природной среде. Именно геохимические показатели живого вещества, при отсутствии ярко выраженных признаков внешних или внутренних патологических изменений (эндемий), характерных для зон избыточного или недостаточного содержания элементов, необходимого для поддержания гомеостаза, могут служить индикатором возможного неблагополучия, обусловленного природными или техногенными факторами среды обитания. Выявленная взаимосвязь между уровнем накопления элементов в природных средах, прежде всего горных породах, почвах и водах, стало ключевым моментом в создании учения о биогеохимических провинциях, у истоков которого стояли А.П. Виноградов, В.В. Ковальский.

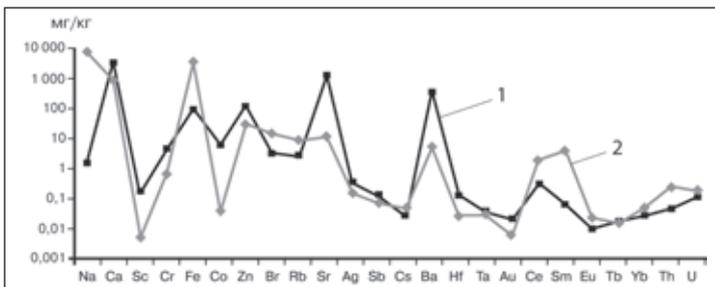
В 1957 г. в СССР появилась первая биогеохимическая карта страны, на которой были выделены зоны дефицита йода (I), кобальта (Co), меди (Cu), избытка бора (B), никеля (Ni); регионы с проявлением эндемических заболеваний («уровская» болезнь) и другая имеющаяся на тот момент времени биогеохимическая информация. В 1962 г. был представлен второй, более подробный вариант этой карты.

При выделении биогеохимических таксонов (зоны, районы, провинции) используют методические подходы, основанные прежде всего на оценке эпидемиологической, санитарно-гигиенической ситуации характеризуемых территорий, а также на оценке геохимических параметров состояния природных сред (почва, вода, аэрозоли и др.) и продуктов пищевого рациона. Именно совокупность этих факторов формирует специфику каждой биогеохимической единицы. В настоящее время ведется разработка системы биоиндикаторных и геохимических показателей, позволяющих проводить зонирование территорий по степени их комфортности для проживания человека. Исследования показывают, что для этих целей могут быть использованы геохимические показатели различных биосубстратов (волосы, моча, кровь и др.), органов и тканей самого человека.

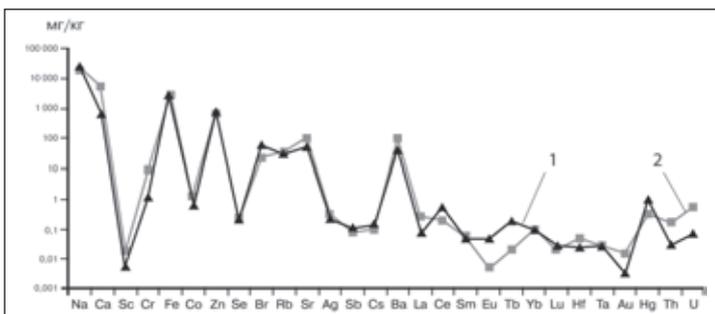
Так, например, А.А. Кист, Л.И. Жук провели биогеохимическое районирование в Узбекистане по результатам исследования волос и крови человека, выделив при этом самые неблагоприятные по экологическим показателям территории для проживания, совпадающие с конкретными геохимическими и металлогени-



**Рис. 1.** Схематическая карта распределения урана в волосах детей на территории Томской области: по классу: 1 – гидрокарбонатный; 2 – хлоридный; 3 – хлоридно-гидрокарбонатный; по группе: 4 – натриевая; 5 – кальциевая; 6 – натриево-кальциевая (Na > Mg); 7 – смешанного трехкомпонентного (Na, Mg, Ca) состава; 8 – магниевое-натриевая (Mg > Na); 9 – кальциевое-натриевая (Ca > Na); 10 – кальциевое-магниевая (Ca > Mg); 11 – минерализация, г/л; 12 – контур площади перспективной ураноносности по геологическим данным; 13 – контур площади перспективной ураноносности по биогеохимическим данным; 14 – железорудный бассейн; 15 – зона перспективной ураноносности



**Рис. 2.** Распределение элементов в солевых отложениях (накпи) питьевых вод (1) и в крови человека (2)



**Рис. 3.** Сравнение уровней накопления элементов в исследуемых органах людей в Анане (1) и Томске (2)

ческими районами страны (Чаткала-Кураминская зона и др.), районами активной добычи и гидрометаллургической переработки минерального сырья (Ампалык, Навои и др.).

Заслуживают внимания результаты, полученные по уровням содержания радия (Ra) в костях человека [3]. Этот радиоактивный элемент, продукт распада урана, весьма четко отражает геохимическую специализацию тех или иных блоков земной поверхности по радиоактивным элементам (районы развития ураноносных фосфоритов в Израиле, ураноносных гранитоидов в Украине, урановых месторождений и предприятий по их переработке в Узбекистане и т.д.). Эти материалы могут иметь и значение для прогноза заболеваемости населения, например теми или иными формами раковых заболеваний (лейкемия, остеосаркома и др.).

Результаты выполненных авторами за последние несколько лет исследований по химическому составу биосубстратов, органов и тканей человека, а также зольного остатка человека [4–12] позволяют утверждать, что химический состав человека отражает ландшафтно-геохимические и металлогенические особенности районов его проживания, а также факторы образа жизни, например курение, и особенности техногенеза природной среды на тех или иных урбанизированных территориях.

Установлено, что элементный состав волос детей, проживающих на территории Томской области, отражает особенности гидрогеохимической зональности вод в мезокайнозойском чехле Западно-Сибирской плиты, а установленные максимальные уровни накопления, например урана, достаточно четко совпадает с прогнозируемой здесь перспективной ураноносной зоной (рис. 1).

Анализ элементного состава волос детей и особенностей распределения этих элементов на территории распространения осадочных железных руд Бакчарского месторождения, являющегося частью крупнейшего Западно-Сибирского железорудного бассейна, показал, что структура геохимического поля отражает неоднородности геологического строения территории по геолого-геофизическим данным, а ореолы высоких концентраций железа, кобальта и хрома в волосах детей приурочены к границе контуров рудного объекта. Тот факт, что эти территории относятся к зонам с незначительной техногенной нагрузкой, свидетельствует о том, что на формирование элементного состава волос оказывает значительное влияние природная геолого-геохимическая составляющая [5]. Следовательно, эндемии биогеохимической природы, обусловленные влиянием аномально высокого поступления элемента из геологических структур, могут прогнозироваться с использованием показателей элементного состава тканей человека. Это имеет важное практическое значение в профилактике заболеваемости населения.

Следует также отметить, что элементный состав крови детей достаточно отчетливо коррелирует с составом солевых отложений (накипи) на посуде (рис. 2), которые отражают химический состав питьевых вод региона [5].

Влияние среды обитания можно увидеть в сравнительном анализе химического состава органов и тканей людей, проживающих в районах прибрежно-морских (г.

**Таблица 1.** сравнительная оценка содержания элементов в организме человека по данным Ulf Lindh (2005 г.) (1); по данным В.И. Вернадского (1922 г.) со ссылкой на фолькмана (2)

Элемент	Содержание, %	
	1	2
Кислород (O)	65,0	(65,04)
Углерод (C)	18,0	(18,25)
Водород (H)	10,0	(10,05)
Азот (N)	3,0	(2,65)
Фосфор (P)	1	(0,8)
Сера (S)	0,26	(0,21)
Кальций (Ca)	1,4	(1,4)
Магний (Mg)	0,5	(0,04)
Калий (K)	0,34	(0,27)
Натрий (Na)	0,14	(0,26)
Хлор (Cl)	0,14	(0,25)
Кремний (Si)	0,026	(0,00n)
Железо (Fe)	0,006	(0,02)
Фтор (F)	0,0037	(0,000n)
Хлор (Cl)	0,14	(0,25)
Цинк (Zn)	0,0033	(0,00n)
Бром (Br)	0,0029	(0,00n)
Медь (Cu)	0,0001	(0,00n)
Мышьяк (As)	0,000026	(0,n)
Йод (I)	0,000019	(0,0n)

Анапа) и континентальных таежных ландшафтов (г. Томск) [13] (рис. 3). В органах людей, проживающих в Анапе, достаточно четко видно накопление брома (Br), церия (Ce), европия (Eu), тербия (Tb) и ртути (Hg) относительно органов людей, проживающих в Томске. Присутствие брома (Br), несомненно, отражает влияние моря и, возможно, лечебных илов. Что касается повышенных концентраций других элементов, то их природу достаточно сложно определить. Возможно, это результат проявления техногенных процессов.

Факторы образа жизни, влияющие на элементный состав организма, наиболее ярко проявляются при сравнительном анализе органов дыхательной системы курящего мужчины и некурящей женщины. Так, в легких курящего мужчины содержание практически всех изученных 65 элементов выше, чем у женщины. Аналогичная ситуация устанавливается и для бронхов, тогда как в трахее картина обратная практически по всем элементам [8].

Различия в химическом составе отмечаются не только на уровне биосубстратов, органов и тканей, но и в составе всего организма человека. В.И. Вернадский в начале XX в. отмечал, что живой организм, в том числе человек, отражает состав среды его обитания [14]. Однако он сетовал на то, что количественная оценка содержания химических элементов в живом веществе, а тем более в человеке, далеко не полная. Характеризуя химический состав орга-

низма человека, В.И. Вернадский со ссылкой на физиолога Фолькмана привел данные по некоторым элементам (табл. 1). Этот оценочный уровень средних содержаний практически не отличается от современных оценок [15], что свидетельствует о том, что за последние 100 лет изменений в составе организма человека на уровне основных изученных элементов практически не произошло. Человеческий организм – достаточно уравновешенная и устойчивая геохимическая система.

До настоящего времени наиболее полной информацией по элементному составу было обобщение рабочей группы комитета II МКРЗ по условному человеку. Но приведенный в ней перечень компонентов далеко неполный и практически не включает редкие, редкоземельные и радиоактивные элементы. Эти оценочные данные получены различными методами анализа и оценивать их достаточно сложно.

Авторы с использованием современных методов ана-

лиза (нейтронно-активационный, метод индуктивно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием) попытались восполнить этот пробел в геохимии живого вещества (табл. 2).

Наиболее полно изучен зольный остаток организма человека (ЗООЧ) в пяти регионах России. В городах Новокузнецк, Новосибирск, Ростов-на-Дону материал изучен всеми вышеперечисленными методами [7, 8], а в Санкт-Петербурге и Екатеринбурге – только методом ИНАА. Следует отметить, что полученная геохимическая информация по ЗООЧ не отражает истинного химического состава организма человека, так как часть элементов была утеряна при сжигании материала при температуре 1200–1400 °С, но она может быть использована для выявления геохимической специализации ЗООЧ, отражающего все факторы (природные и техногенные) формирования химического состава человека. Анализ данных, полученных методом ИНАА показывает, что каждый из изученных городов Рос-

**Таблица 2.** Результаты инструментального нейтронноактивационного анализа ЗООЧ

Элемент	Содержание химических элементов мг/кг золы				
	Новокузнецк	Новосибирск	Ростов-на-Дону	Санкт-Петербург	Екатеринбург
Na	13 648±714	21 100±1 843	23 491±3 942	31 295±2 247	27 329±7 191
Ca	21 9757±5951	186 633±4 573	182 363±11 493	209 500±4 196	176 714±19 883
Sc	0,28±0,06	0,41±0,06	0,53±0,1	0,25±0,03	0,44±0,08
Cr	73±18	478±54	491±65	290±38	322±98
Fe	25 724±2 139	37 120±5 886	33 491±10 837	42 480±5 604	4 089±1 205
Co	5,3±0,2	10±1,6	3,62±0,7	8,67±1	3,4±0,8
Zn	3 125±2 293	289±20	3 250±1 992	3 480±951	560±108
As	1,7±0,3*	<0,5*	<0,5*	0,99±0,04*	1,1±0,07
Br	2,5±0,2	<1*	<1*	4,1±0,8	28±4
Rb	3,8±0,5	3,9±1,4	18,7	11±1	19,8±3
Sr	134±16	28±8*	<20*	96±27*	265±110
Ag	0,77±0,1*	2,03±0,3	5,1±1,7	3,77±1,2	2,6±0,9
Sb	7,9±2,1	18±0,9	13±1	25±4	16±4,5
Cs	0,098±0,004	<0,1*	<0,1*	0,13±0,02	0,14±0,04
Ba	64±14	354±42	316±75	302±49	468±197
La	0,99±0,2	2,54±0,9	6,16±1,2	1,43±0,2	2,3±0,3
Ce	1,39±0,3*	0,33±0,09	3,81±1,5*	3,42±1	2,4±1
Sm	0,29±0,08	0,057±0,007*	0,29±0,07	0,44±0,1	0,11±0,04
Eu	0,038±0,004	<0,02*	0,185±0,05*	0,044±0,007	0,04±0,007
Tb	0,021±0,001*	<0,02*	0,03±0,009*	0,133±0,09*	0,015±0,002
Yb	0,06±0,008*	<0,05*	0,34±0,19*	0,07±0,01*	0,08±0,01
Lu	0,022±0,001*	0,03±0,01*	<0,02*	0,026±0,007	0,005±0,002
Hf	0,16±0,02	0,144±0,04	0,62±0,1	0,19±0,02	0,36±0,1
Ta	0,097±0,005*	0,225±0,03*	0,99±0,3	0,2±0,07	0,13±0,06
Au	0,02±0,007*	7,4±1,9	0,25±0,1	0,02±0,007	0,09±0,03
Th	0,16±0,04*	0,14±0,04*	1,34±0,3	0,18±0,04	0,5±0,1
U	0,34±0,09*	<0,1*	<0,1*	0,28±0,08*	0,06±0,006
Nd	–	–	–	2,5±0,7	0,54±0,1

Примечание: «–» – элемент не определялся, \* – элемент встречается ниже предела определения в 50 % и более проб.

сии имеет ярко выраженную геохимическую специализацию.

Для Новосибирска приоритетными элементами, концентрирующимися в ЗООЧ, являются золото (Au), а также Со и Ва, для Новокузнецка – As, Sr и повышенный Вг и Sc, для Ростова-на-Дону – гафний (Hf), торий (Th), тантал (Ta) и почти все редкие земли. В ЗООЧ из Санкт-Петербурга зафиксировано значительное количество максимально накапливаемых химических элементов (7 из 27), таких как натрий (Na), железо (Fe), цинк (Zn), бром (Br), сурьма (Sb), средние редкие земли, а также серебро (Ag), скандий (Sc) и др. Следует обратить особое внимание на бром. Являясь галогеном, этот элемент должен обладать высокой летучестью при высоких температурах (более 1200 °С), в связи с этим в ЗООЧ из Новосибирска и Ростова-на-Дону этого компонента нет. Однако в ЗООЧ из Новокузнецка и Санкт-Петербурга его присутствие обнаружено и составляет, соответственно, 2,5 и 4,1 мг/кг. Тем более удивляет факт аномально высокого содержания брома в ЗООЧ г. Екатеринбурга (28 мг/кг!), происхождение которого сложно объяснить. Следует отметить, что такое содержание характерно для всех изученных проб без особой вариативности. Можно предположить, что его количество было крайне высокое, что привело к сохранению в этом материале. Бромная специализация ЗООЧ из Новокузнецка может быть обусловлена наличием угольных месторождений в пределах города, а As, вероятно, не что иное, как продукт техногенеза металлургического производства.

Высокие концентрации Au и Sb в ЗООЧ из Новосибирска обусловлены прежде всего работой аффинажного завода. Кроме того, следует отметить, что эта часть Западно-Сибирского региона имеет достаточно ярко выраженную геохимическую специализацию углей и торфов, а в непосредственной близости от Новосибирска известны многочисленные проявления и месторождения золота, в том числе в корах выветривания.

Ярко выраженная Th-Hf – редкоземельная специализация ЗООЧ из Ростова-на-Дону может быть обусловлена техногенными факторами: деятельностью многочисленных предприятий города, использующих эти компоненты в своих производствах, а также работой ТЭЦ. 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. И решение этого вопроса требует постановки специальных исследований.

Весьма затруднительна для объяснения геохимическая ассоциация из 7 элементов, установленная по данным ИНАА в ЗООЧ из Санкт-Петербурга. Несомненно, что часть элементов, таких, как Fe, Zn, обусловлена работой металлообрабатывающих предприятий города, тогда как редкие земли средней группы (Nd, Sm, Tb), вероятно, отражают воздействие предприятий, использующих эти компоненты в производстве (оптикошлифовальные и др.). Высокие содержания в ЗООЧ Вг, Sb и Ag может быть объяснено тем, что под Санкт-Петербургом и в его окрестностях залегают так называемые черные сланцы, которые по своей природе насыщены этими компонентами, а также здесь известны урановые объекты в углеродистых породах [16].

Таким образом, следует отметить, что живое вещество, в том числе биосубстраты, органы и ткани человека, а также весь его организм отражают геолого-геохимическую неоднородность земной коры, качество питьевых вод, атмосферы и пищевого рациона, а также особенности техногенеза, специфика которого проявляется в каждом отдельно взятом районе. Знания о точном количественном элементном составе человека с учетом региональных и других особенностей могут способствовать более эффективному проведению коррекции здоровья людей и животных и заблаговременной профилактики различных заболеваний в соответствии с концепциями «Микроэлементозов», «Геохимической экологии» и «Геохимической экологии болезней».

Химические элементы в организме человека должны стать обязательной геохимической основой для развития нового научного направления «Медицинская геология», имеющей важное социальное значение.

В связи с тем, что существует определенная проблема получения биологического материала человека для исследования (за исключением ногтей и волос), то можно предположить в качестве исследовательской модели организм животного, например свиньи (*Sus scrofa domestica* Linnaeus 1758 (*Artiodactyla*, *Mammalia*)), который наиболее полно по своим физиологическим свойствам соответствует организму человека. Выполненные авторами исследования с использованием органов и тканей этого животного показали возможность реализации такого подхода [5, 6].

Работа выполнена при поддержке ГК №14.740.11.1036.

## Литература

1. *Essentials of Medical geology. Impacts of the Natural Environment on Public Health / Edited in Chief: Olle Selinus – Elsevier Academic Press, 2005. – 812 p.*
2. Белан Л.Н. *Геоэкологические основы природно-техногенных экосистем горнорудных районов Башкортостана / автореф. дисс. ... д-ра геол.-минерал. наук. – М.: ВИМС, 2006. – 46 с.*
3. Моисеев А.А., Иванов В.Н. *Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомизд., 1984. – 296 с.*
4. Барановская Н.В., Игнатова Т.Н., Рихванов Л.П. *Уран и торий в органах и тканях человека // Вестник Томского государственного университета, 2010. – №339. – С.182–188.*
5. Барановская Н.В. *Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем / автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. – Томск: ТГУ, 2011. – 48 с.*
6. Барановская Н.В., Рихванов Л.П. *Элементный состав органов и тканей домашних животных (*Sus scrofa domestica* (*Artiodactyla*, *Mammalia*)) как индикатор среды обитания //*

- Проблемы биогеохимии и геохимической экологии, 2011. – №3(17). – С.78–84.
7. Игнатова Т.Н., Барановская Н.В., Рихванов Л.П., Судько А.Ф. Региональные биогеохимические особенности накопления химических элементов в зольном остатке организма человека // Изв. Томского политехнического университета, 2010. – Т.317. – №1. – С.178–183.
  8. Игнатова Т.Н. Элементный состав организма человека и его связь с факторами среды обитания / авторефер. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2010. – 24 с.
  9. Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Игнатова Т.Н. К геохимии живого вещества // Актуальные проблемы геохимической экологии: сб. докладов IV Междунар. науч.-практ. тич. конференции. – Семипалатинск, 2006. – С.19–40.
  10. Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Игнатова Т.Н. и др. Элементный состав органов и тканей человека по данным инструментального нейтронно-активационного анализа // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: материалы V Междунар. научно-практической конференции. Семипалатинский государственный педагогический институт, 15–18 октября 2008 г. – Семипалатинск, 2007. – Т.2. – С.26–36.
  11. Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Игнатова Т.Н. и др. Элементный состав органов и тканей человека // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – Республика Казахстан, Семипалатинск, 2009. – №1(9). – С.67–77.
  12. Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Игнатова Т.Н. и др. Химический элементный состав органов и тканей человека и его экологическое значение // Геохимия, 2011. – №7. – Вып.49. – С.779–784.
  13. Барановская Н.В. Алексеев В.А., Рихванов Л.П., Игнатова Т.Н. Сравнительная характеристика региональных особенностей элементного состава органов человека (на примере Краснодарского края и Томского района) // Геохимия биосферы: сб. материалов и тезисов IV Международного совещания, Новороссийск, 26–30 мая 2007 г. – Новороссийск, 2008. – С.225–230.
  14. Вернадский В.И. Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры. – Петербург: Время, 1922. – 48 с.
  15. Lindh U. Biological functions of the element // Essentials of Medical Geology. – Elsevier, 2005. – P.115–160.
  16. Машковцев Г.А. Константинов А.К., Мизута А.К. и др. Уран российских недр. – М.: ВИМС, 2010. – 850 с.

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГРУДНОГО МОЛОКА ЖЕНЩИН ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА

С.С. Станкевич<sup>1</sup>, Н.А. Барабаш<sup>2</sup>, Н.В. Барановская<sup>3</sup>

<sup>1</sup>МБЛПУ ЗОТ «Центр медицинской профилактики» г. Томска, stanlana@yandex.ru

<sup>2</sup>ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет»

Минздравсоцразвития России, eukon@inbox.ru

<sup>3</sup>ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», natalya.baranovs@mail.ru

### MICRONUTRIENT COMPOSITION OF WOMEN'S BREAST MILK, WHO LIVE IN INDUSTRIAL CITIES

S.S. Stankevich<sup>1</sup>, N.A. Barabash<sup>2</sup>, N.V. Baranovskaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Medical Budget Health Profiliactic Speciality Institution "Medical Prevention Centre", Tomsk, stanlana@yandex.ru

<sup>2</sup>Siberian State Medical University, eukon@inbox.ru

<sup>3</sup>Tomsk Polytecnic University, natalya.baranovs@mail.ru

**Abstract.** The article presents of the results own research 29 chemical elements in the dynamics of breast milk lactation (0 to 6 months) in women living in an industrial city. The study revealed that the breast-feeding women in Tomsk determined excessive content of Ca, Co, Cr, Se, Fe, Zn, As, depending on the area of residence. Rarely elements (including lanthanides) were founded in the breast milk of women living in Tomsk, with predominance in the Soviet area.

### Актуальность

Не вызывает сомнений, что самой лучшей пищей для ребёнка грудного возраста является молоко матери [1–2]. Естественное вскармливание на первом году жизни в значительной степени определяет состояние здоровья ребенка не только в раннем возрасте, но и в последующие периоды его жизни [3–5]. Состав грудного молока, особенно микроэлементный, зависит от многих факторов: от экологической ситуации в районе проживания матери, от качества питьевой воды, от питания матери, вредных привычек, профессии [6–8]. К настоящему времени в литературе накопилось немало данных о нарушении адаптационных возможностей организма в связи с дисбалансом химических элементов в окружающей среде. При исследовании хими-

ческого состава грудного молока, роль элементов всегда неоднозначна: с одной стороны эти вещества необходимы для протекания биологических процессов и их дефицит может привести к ряду заболеваний, а с другой стороны, они могут выступать в качестве токсинов, оказывающих отрицательное влияние на организм матери и младенца. В современной литературе имеются разрозненные данные о содержании эссенциальных, условно эссенциальных и токсичных элементов в системе мать – грудное молоко – ребёнок, единичные сведения о содержании в грудном молоке редко встречаемых элементов (в том числе лантаноидов), путях их поступления в организм человека и влиянии их на состояние здоровья детей [5–8].

Территория г. Томска представляет собой сложный хозяйственно-природный комплекс, формирование и су-

ществование которого определяется наличием разнопрофильных предприятий. Для проводимого исследования было выбрано два различных района проживания женщин: Советский район г. Томска (место проживания II, III и IV групп) и с. Тимирязевское Кировского района г. Томска, где проживали пары I группы. По результатам исследования проб городской почвы, выделяется Советский район (СПЗ=43) в почвах которого выявлены более высокие концентрации мышьяка (20,5 мг/кг), цинка (238,5 мг/кг) при фоновом значении 13,0 мг/кг и 82,5 мг/кг соответственно [8, 9]. При оценке детской заболеваемости со стороны мочеполовой системы в Советском районе г. Томске за 2005 г., было выявлено, что в моче детей имеет место избыток сурьмы, ртути, мышьяка, свинца по сравнению с другими районами г. Томска и с. Тимирязевского. Была доказана прямая корреляция между повышенным содержанием данных элементов в почво-грунтах и моче детей, что свидетельствует о предрасположенности детей к развитию токсико-аллергических и дисметаболических заболеваний почек [10].

Село Тимирязевское располагается в 5 км от промышленного города в лесной местности, не имеет крупных промышленных предприятий и магистральных дорог. Этот населённый пункт можно отнести к условно-фоновым по

сравнению с городской территорией, о чём свидетельствует и уровень СПЗ, который здесь составляет 16. Также в с. Тимирязевское показатели заболеваемости детей до 14 лет по всем нозологиям были в 1,5–2 раза ниже относительно показателей заболеваемости детей по г. Томску [10].

### Материалы и методы

Основным материалом для исследования в I и II группах служило грудное молоко женщин, которое собиралось в сроке 1, 3, 6 месяцев после родов. Для определения элементного состава грудного молока был использован метод инструментального нейтронно-активационного анализа с облучением тепловыми нейтронами, который проводился на Томском исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета.

Анализ полученных результатов проводили с использованием R version 2.7.1. Обобщение результатов исследования проводилось с использованием описательных статистик: Me (медиана) и Q1, Q3 (перцентили 25 и 75). Различия в группах сравнения считались статистически

**Таблица 1.** Сравнение концентраций эссенциальных элементов в грудном молоке женщин с. Тимирязевского (1, 3, 5) и г. Томска (2, 4, 6) в динамике лактации, мг/л

Показатели			1	2	P I	3	4	P II	5	6	P III
№	МЭ	статистика	n=10	n=30		n=10	n=30		n=10	n=21	
1	Na	Me	105	140	0,25	130	99	0,08	127	116	0,45
		Q1	99	108		103	88		102	73	
		Q3	151	211		140	115		142	128	
2	Ca	Me	623	253	<0,001	462	161	<0,001	540	670	0,025
		Q1	520	202		312	149		443	555	
		Q3	750	299		672	169		578	718	
3	Cr	Me	0,009	0,09	<0,001	0,009	0,017	0,089	0,009	0,009	0,38
		Q1	0,009	0,017		0,009	0,01		0,009	0,009	
		Q3	0,01	0,33		0,009	0,022		0,009	0,009	
4	Fe	Me	81	21	0,004	80	16,4	<0,001	80	36,4	0,009
		Q1	80,2	1,8		78	9		76	22,2	
		Q3	81	44,3		81	27,2		81	76,2	
5	Co	Me	0,001	0,007	<0,001	0,002	0,003	0,042	0,003	0,003	0,97
		Q1	0,0009	0,003		0,0009	0,003		0,001	0,002	
		Q3	0,002	0,011		0,003	0,004		0,004	0,003	
6	Zn	Me	5,1	3,3	0,065	3,7	2,8	0,039	2,6	2,4	0,45
		Q1	4,4	2,5		2,6	2,6		2,0	2,1	
		Q3	5,9	4,9		4,7	3,0		4,4	2,6	
7	Se	Me	0,04	0,05	0,16	0,04	0,02	<0,001	0,04	0,03	0,014
		Q1	0,03	0,05		0,04	0,01		0,04	0,02	
		Q3	0,06	0,06		0,05	0,02		0,05	0,04	

Примечания: P I – достоверность различий между группами на первом месяце лактации; P II – достоверность различий между группами на третьем месяце лактации; P III – достоверность различий между группами на шестом месяце лактации.

**Таблица 2.** Сравнение концентраций условно эссенциальных элементов в грудном молоке женщин с. Тимирязевского (1, 3, 5) и г. Томска (2, 4, 6) в динамике лактации

Показатели		1	2	P I	3	4	P II	5	6	P III
МЭ	статистика	n=10	n=30		n=10	n=30		n=10	n=21	
Br	Me	1,3	1,2	0,17	1,4	0,7	<0,001	1,3	1,6	0,33
	Q1	1,1	0,8		1,2	0,7		1,2	0,9	
	Q3	1,5	1,4		1,5	0,8		1,4	2,1	
As	Me	0,09	0,03	<0,001	0,09	0,09	0,57	0,09	0,09	0,93
	Q1	0,09	0,004		0,09	0,09		0,06	0,09	
	Q3	0,09	0,05		0,12	0,1		0,09	0,09	

Примечания: P I – достоверность различий между группами на первом месяце лактации; P II – достоверность различий между группами на третьем месяце лактации; P III – достоверность различий между группами на шестом месяце лактации.

**Таблица 3.** Сравнение концентраций токсичных элементов в грудном молоке женщин с. Тимирязевского (1, 3, 5) и г. Томска (2, 4, 6) в динамике лактации, мг/л

Показатели			1	2	P I	3	4	P II	5	6	P III
№	МЭ	статистика	n=10	n=30		n=10	n=30		n=10	n=21	
1	Sb	Me	0,007	0,004	0,091	0,02	0,005	0,003	0,02	0,005	0,043
		Q1	0,004	0,004		0,01	0,004		0,007	0,004	
		Q3	0,031	0,005		0,023	0,005		0,02	0,006	
2	Ag*	Me	0,008	0,009	0,11	0,013	0,007	<0,001	0,013	0,008	0,01
		Q1	0,008	0,009		0,008	0,007		0,008	0,007	
		Q3	0,01	0,24		0,02	0,008		0,024	0,008	
3	Th	Me	0,0006	0,002	0,002	0,002	0,002	0,96	0,002	0,0008	0,047
		Q1	0,0003	0,002		0,0009	0,002		0,0007	0,0006	
		Q3	0,0007	0,002		0,003	0,002		0,003	0,001	
4	U	Me	0,004	0,009	0,003	0,006	0,004	<0,001	0,005	0,006	0,13
		Q1	0,004	0,007		0,005	0,002		0,004	0,005	
		Q3	0,005	0,01		0,007	0,004		0,006	0,007	
5	Au*	Me	0,0002	0,0006	<0,001	0,0002	0,0002	0,07	0,0002	0,0004	0,25
		Q1	0,0002	0,0005		0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	
		Q3	0,0002	0,0008		0,0002	0,0002		0,0003	0,0005	
6	Ba	Me	0,45	0,9	<0,001	0,45	0,53	<0,001	0,44	0,47	0,007
		Q1	0,45	0,9		0,44	0,45		0,42	0,45	
		Q3	0,46	1,16		0,45	0,58		0,45	0,51	
7	Sr*	Me	0,9	1,12	0,34	0,80	1,35	<0,001	0,80	0,9	0,11
		Q1	0,9	0,8		0,73	0,9		0,65	0,9	
		Q3	0,9	2,6		0,9	1,8		0,91	0,9	
8	Hg	Me	0,08	0,05	0,005	0,08	0,08	0,49	0,06	0,08	0,35
		Q1	0,07	0,04		0,07	0,06		0,06	0,05	
		Q3	0,11	0,06		0,09	0,09		0,07	0,2	

Примечания: P I – достоверность различий между группами на первом месяце лактации; P II – достоверность различий между группами на третьем месяце лактации; P III – достоверность различий между группами на шестом месяце лактации; \* – концентрация данного элемента была ниже предела определения методом ИНАА.

значимыми при  $p < 0,05$ .

### Результаты

При сравнении концентраций эссенциальных элементов в грудном молоке женщин в динамике лактации, про-

живающих в различных районах г. Томска было отмечено, что на 1-м месяце лактации во II группе сравнения достоверно ниже было содержание Ca ( $p < 0,001$ ), Fe ( $p = 0,004$ ) по сравнению с I группой наблюдения (табл. 1). Во II группе на 1-м месяце наблюдения отмечалось статистически

**Таблица 4.** Сравнение концентраций редко встречаемых элементов в грудном молоке женщин с. Тимирязевское (1, 3, 5) и г. Томска (2, 4, 6) в динамике лактации, мг/л

Показатели			1	2	P I	3	4	P II	5	6	P III
№	МЭ	статистика	n=10	n=30		n=10	n=30		n=10	n=21	
1	Sc	Me	0,0002	0,0003	0,041	0,0002	0,0001	0,015	0,0002	0,0002	0,67
		Q1	0,0002	0,0001		0,0002	0,0001		0,0002	0,0002	
		Q3	0,0002	0,0004		0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	
2	Ru	Me	0,46	0,6	0,042	0,45	0,3	0,006	0,49	0,5	0,64
		Q1	0,41	0,5		0,40	0,2		0,44	0,4	
		Q3	0,52	0,6		0,52	0,3		0,53	0,5	
3	La	Me	0,0009	0,008	0,008	0,002	0,0009	0,009	0,002	0,001	0,083
		Q1	0,0009	0,006		0,001	0,0009		0,001	0,0009	
		Q3	0,001	0,009		0,002	0,001		0,002	0,001	
4	Ce	Me	0,008	0,02	<0,001	0,006	0,005	0,29	0,007	0,006	0,63
		Q1	0,006	0,02		0,005	0,004		0,006	0,006	
		Q3	0,008	0,03		0,007	0,009		0,008	0,008	
5	Sm	Me	0,0003	0,007	<0,001	0,0006	0,0007	0,84	0,0005	0,0003	<0,001
		Q1	0,0003	0,005		0,0003	0,0003		0,0005	0,0003	
		Q3	0,0003	0,01		0,001	0,001		0,0006	0,0003	
6	Yb	Me	0,003	0,003	0,76	0,003	0,003	0,48	0,002	0,003	0,007
		Q1	0,003	0,003		0,003	0,003		0,002	0,003	
		Q3	0,003	0,003		0,003	0,003		0,003	0,003	
7	Lu	Me	0,0002	0,0003	0,019	0,0002	0,0002	0,47	0,0001	0,0002	0,18
		Q1	0,0002	0,0002		0,0001	0,0002		0,0001	0,0002	
		Q3	0,0002	0,0003		0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	
8	Hf	Me	0,0009	0,001	0,007	0,0007	0,0009	0,015	0,0009	0,0009	0,16
		Q1	0,0009	0,0009		0,0007	0,0008		0,0008	0,0009	
		Q3	0,0009	0,002		0,0009	0,001		0,0009	0,0009	
9	Cs	Me	0,004	0,008	0,002	0,003	0,002	0,32	0,003	0,004	0,014
		Q1	0,003	0,006		0,002	0,002		0,002	0,004	
		Q3	0,004	0,009		0,004	0,003		0,003	0,004	
10	Tb	Me	0,00009	0,0009	<0,001	0,0002	0,00009	0,02	0,0001	0,00009	0,006
		Q1	0,00009	0,0006		0,0001	0,00006		0,0001	0,00009	
		Q3	0,00009	0,0009		0,0002	0,00009		0,0001	0,00009	
11	Ta	Me	0,002	0,003	<0,001	0,002	0,003	<0,001	0,002	0,002	0,065
		Q1	0,002	0,002		0,002	0,002		0,002	0,002	
		Q3	0,002	0,003		0,002	0,003		0,002	0,002	
12	Eu	Me	0,0009	0,003	0,007	0,0008	0,003	<0,001	0,0008	0,0009	<0,001
		Q1	0,0009	0,0009		0,0007	0,0009		0,0007	0,0009	
		Q3	0,0009	0,004		0,0009	0,004		0,0008	0,0009	

Примечания: P I – достоверность различий между группами на первом месяце лактации; P II – достоверность различий между группами на третьем месяце лактации; P III – достоверность различий между группами на шестом месяце лактации.

значимое повышение Cr ( $p < 0,001$ ) и Co ( $p < 0,001$ ). На 3-м месяце в I группе сравнения сохранялся повышенный уровень Ca ( $p < 0,001$ ), Fe ( $p < 0,001$ ), Zn ( $p = 0,039$ ) и Se ( $p < 0,001$ ) по сравнению со II группой наблюдения (табл. 1). К 6-му месяцу лактации концентрация Fe ( $p = 0,009$ ) и Se ( $p = 0,014$ ) была выше в молоке женщин I группы сравнения, а уровень Ca ( $p = 0,025$ ) был достоверно выше во II группе наблюдения ( $p = 0,025$ ).

Содержание условно-эссенциального элемента As в большинстве проб грудного молока обеих групп было ниже предела определения методом ИНАА. Между группами достоверных отличий по содержанию As в молоке отмечено не было на 3-м и 6-м месяце лактации, а на 1-м месяце его уровень был достоверно выше в I группе сравнения ( $p < 0,001$ ) что, вероятно, связано с повышенным содержанием As в почве и воздухе промышленного города и мало зависит от содержания его в организме кормящей женщины (табл. 2). При сравнении концентрации Вг в грудном молоке женщин достоверных отличий между группами на 1-м и 6-м месяцах лактации отмечено не было. На 3-м месяце наблюдения уровень Вг был достоверно ниже во II группе сравнения ( $p < 0,001$ ) (табл. 2).

Впервые были получены данные о содержании большинства токсичных элементов в грудном молоке, которые определялись не во всех пробах (от 40 % для Ag, Sr до 50 % для U). При определении 8 токсичных элементов (Sb, Ag, Th, U, Au, Ba, Sr, Hg) было выявлено, что в грудном молоке женщин I группы сравнения в высоких концентрациях ( $10^{-1}$ – $10^{-3}$  мг/л) определялись Sb, Ba, Sr, Hg, Ag, U, в низких концентрациях ( $10^{-4}$ – $10^{-5}$  мг/л) – Th и Au, тогда как в грудном молоке женщин II группы сравнения Th и Sr определялись в более высоких концентрациях. При сравнении концентрации токсичных элементов в женском молоке на 1-м месяце наблюдения было определено, что уровень Au ( $p < 0,001$ ), Hg ( $p = 0,005$ ) был достоверно ниже, а концентрация U ( $p = 0,003$ ), Th ( $p = 0,002$ ), Ba ( $p < 0,001$ ) преобладала во II группе сравнения. На 3-м месяце лактации было выявлено, что содержание Sb ( $p = 0,003$ ), Ag ( $p < 0,001$ ) и U ( $p < 0,001$ ) было достоверно ниже, а Ba ( $p < 0,001$ ) и Sr ( $p < 0,001$ ) достоверно выше во II группе сравнения по от-

ношению к I группе сравнения (табл. 3). На 6-м месяце лактации во II группе сравнения преобладало содержание Ba ( $p = 0,007$ ), а в I группе сравнения – Sb ( $p = 0,043$ ) и Th ( $p = 0,047$ ) (табл. 3). В динамике лактации большинство токсичных элементов достоверно снижалось в грудном молоке женщин Советского района, а у женщин с. Тимирязевского концентрация данных элементов была более стабильной.

При исследовании женского молока впервые было определено содержание 12 редко встречаемых элементов, из которых 7 были лантаноидами (La, Ce, Sm, Yb, Lu, Tb, Eu). В основном, концентрация этих элементов в грудном молоке находилась в следовых количествах и в динамике наблюдения их уровень практически не изменялся. В то же время в первый месяц лактации, в Советском районе г. Томска в 83 % случаев редко встречаемые элементы и лантаноиды были определены в грудном молоке в повышенной концентрации по сравнению с молоком женщин с. Тимирязевского со статистически значимой разницей. При сравнении концентраций редко встречаемых элементов в женском молоке на 1-м месяце лактации уровень Sc ( $p = 0,041$ ), Rb ( $p = 0,042$ ), La ( $p = 0,008$ ), Ce ( $p < 0,001$ ), Sm ( $p < 0,001$ ), Lu ( $p = 0,019$ ), Hf ( $p = 0,007$ ), Cs ( $p = 0,002$ ), Ta ( $p < 0,001$ ), Tb ( $p < 0,001$ ) и Eu ( $p = 0,007$ ) был достоверно выше во II группе сравнения. На 3-м месяце лактации было достоверно выше содержание Sc ( $p = 0,015$ ), Rb ( $p = 0,006$ ), La ( $p = 0,009$ ) было достоверно выше, а уровень Hf ( $p = 0,015$ ), Cs ( $p = 0,002$ ), Ta ( $p < 0,001$ ), Tb ( $p = 0,02$ ) и Eu ( $p < 0,001$ ) был достоверно ниже в I группе сравнения по отношению ко II группе (табл. 4). На 6-м месяце лактации низкое содержание Sm ( $p < 0,001$ ), Yb ( $p = 0,007$ ), Tb ( $p = 0,006$ ) и повышенный уровень Cs ( $p = 0,014$ ), Eu ( $p < 0,001$ ) отмечен во II группе сравнения.

Таким образом, анализ грудного молока женщин г. Томска показал, что в I группе сравнения преобладало содержание эссенциальных и частично токсичных элементов. Уровень условно эссенциальных, редко встречаемых и токсичных элементов в грудном молоке женщин Советского района г. Томска отражал геохимические особенности территории проживания женщин.

## Литература

1. Боровик Т.Э., Ладодо К.С., Тамазян Г.В. Особенности вскармливания детей первого года жизни (по материалам анкетирования детей в Московской области) // Вопросы детской диетологии, 2005. – №6(3). – С.12–15.
2. Гмошинская М.В. Разработка и оценка эффективности системы поддержки грудного вскармливания детей первого года жизни: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Москва, 2008. – 50 с.
3. Баранов А.А., Щеплягина Л.А., Вахлова И.В., Коденцова В.М. Состояние здоровья новорожденных в зависимости от обеспечения матери микронутриентами // Consilium Medicum. Экстравыпуск, 2005. – С.8–12.
4. Вахлова И.В. Клиническое значение дефицита микронутриентов для здоровья матери и ребёнка в уральском регионе. Принципы профилактики и коррекции: Автореф. дис. д-ра мед. наук. – Екатеринбург, 2005. – 45 с.
5. Громова О.А., Намазова Л.С., Торшхоева Р.М., Боровик Т.Э. и др. Обеспеченность витаминами и минеральными веществами детей с аллергическими заболеваниями в современных условиях // Педиатрическая фармакология, 2008. – Т.5. – №3. – С.76–8.
6. Кушнарёва М.В., Белова О.Н., Юрьева Э.А. Влияние экологии на состав грудного молока и здоровье новорождённых. Лекция. – Москва, 2004. – С.61.
7. Сенькевич О.А. Микроэлементный дисбаланс в формировании патологии маловесных новорождённых на Дальнем Востоке: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Хабаровск, 2009. – 43 с.
8. Жорняк Л.В. Эколога – геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв. Автореф. дис. ... на соискание учёной степени. – Томск, 2009. – С.22.
9. Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Сухих Ю.И., Барановская Н.В., Волков Т.В., Волкова Н.Н. и др. Эколога – геохимические особенности природных сред Томского района и заболевае-

- мость населения. – Томск, 2006. – С.216.
10. Казакова К.Е., Кондратьева Е.И., Терентьева А.А., Рихванов Л.П. Распространённость патологии органов мочевой системы у детей, проживающих в условиях крупного промышленного города. – *Педиатрия*, 2009. – Т.87. – №3. – С.132–134.
  11. Ревич Б.А. и др. Региональные и локальные проблемы химического загрязнения окружающей среды и здоровья населения. – М., 1995. – С.203.
  12. Мартинчик А.Н., Маев И.В., Янушевич О.О. *Общая нутрициология. Учебное пособие.* – Москва: 2005. – 392 с.
  13. Доскин В.А., Макарова З.С. Многофакторная оценка состояния здоровья детей раннего возраста // *Российский вестник перинатологии и педиатрии.* – 2006. – №6. – С.30–37.
  14. Печора К.Л., Фрухт Э.Л., Пантюхина Г.В. *Диагностика нервно – психического развития детей первых трёх лет жизни. Учебное пособие.* – ЦОЛИУВа, 1983. – 218 с.

## БИОГЕОХИМИЯ СОВРЕМЕННЫХ БИОКОСНЫХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР ОБЬ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ)

В.Д. Страховенко<sup>1</sup>, О.П. Таран<sup>2</sup>, Н.И. Ермолаева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, [strahova@igm.nsc.ru](mailto:strahova@igm.nsc.ru)

<sup>2</sup>Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск, [oxanap@catalysis.ru](mailto:oxanap@catalysis.ru)

<sup>3</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, [hope@iwep.nsc.ru](mailto:hope@iwep.nsc.ru)

## BIOGEOCHEMISTRY OF PRESENT DAY NONLIVING SYSTEMS (BY THE EXAMPLE OF THE BOTTOM DEPOSITS OF THE OB-IRTYSH WATERSHAD)

V.D. Strakhovenko<sup>1</sup>, O.P. Taran<sup>2</sup>, N.I. Ermolaeva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, [strahova@igm.nsc.ru](mailto:strahova@igm.nsc.ru)

<sup>2</sup>Boreskov Institute of Catalysis SB RAS, Novosibirsk, [oxanap@catalysis.ru](mailto:oxanap@catalysis.ru)

<sup>3</sup>Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, [hope@iwep.nsc.ru](mailto:hope@iwep.nsc.ru)

**Abstract.** V.I. Vernadsky showed that the chemical state of the outer crust of the planet completely under the influence of life and the overall activity of living organisms in the biosphere appears as a geochemical factor of planetary scale. In his essay "Carbon and living matter in the earth's crust", affecting the question of oil generation in the biosphere, V. Vernadsky defined the basic conditions for the formation caustobiolites, noted the important role of bacteria and other microbes in precipitation of carbonates and other minerals. During the recent sedimentation process, which is the result of a complex mechanism of geological and biological development of inert and nutrient substances in the biosphere, accumulated organic-silt in numerous lakes in Western Siberia. The relationship of organic and mineral components of the sediment is illustrated by the example of 10 lake systems with organosilt deposits of the Ob-Irtysh watershed.

The anaerobic environment in the interfacial water – sediment and the sediment is limited degradation of organic substances, which results to its mass accumulation and disposal of the precipitate. The comparison of the received analytical data allowed to divide the investigated sapropelic sediments of lakes on genetic classification: Kachkulnya – organic silt, Kambala, Yargol, Kukley, Bergul – organosilicate silt; Barchinoy – organocarbonate silt; Kankul, Itkul – mineralized silt; Krotova Liga, Kusgan – alevitopelitovy bottoms. The contribution of the biota in the sediment flux is 10–12%.

The high content of organic matter in the sediments is one of the important conditions for the formation of iron sulfide, which starts in the surface layer of sediment at the interface and actively continues with its sediment diagenesis. The rest of the mineral component of the organicsilt deposits under the seal of the sediment (to the depth of 1–1,5 m) does not change.

Проблемами биогеохимии В.И. Вернадский заинтересовался ещё в 1891 г., изучая влияние организмов на различными минералами. Однако первая публикация, в которой В.И. Вернадский показал, что химическое состояние поверхности нашей планеты всецело находится под влиянием жизни и совокупная деятельность живых организмов в биосфере проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба, появилась лишь в 1921 году [6]. В очерке «Углерод и живое вещество в земной коре», рассматривая вопрос об нефтеобразовании в биосфере, В.И. Вернадский определил основные условия образования каустобиолитов: «образование на земной поверхности больших скоплений организмов определенного химического состава и создание определенных условий, благоприятных

для их подводного разложения». Им отмечено, что образование битуминозных сланцев, нефтей начинается в озерах и в других стоячих водоемах, в неглубоких пресных или солоноватых, богатых живым веществом. Отмершие остатки организмов, не будучи употребленными в пищу другими организмами, собираются на дне водоемов, образуя сапропели. В этом же очерке В.И. Вернадский отмечает важную роль бактерий и других микроорганизмов в процессах осаждения карбонатов и некоторых других минералов [3].

Согласно современным представлениям озерная система – это открытая неравновесная физико-химическая система преобразования вещества, энергии в ходе процесса современного осадкообразования, который является результатом сложнейшего механизма геологического и

биологического развития косного и биогенного вещества в биосфере. По происхождению частицы, входящие в состав донных отложений, бывают терригенные (приносимые временным и постоянным водостоком, ветром или поступающие от разрушения берегов), хемогенные (образующиеся при химических процессах) и биогенные (связанные с биологическими процессами, главным образом остатки отмерших организмов) [4; 14; 15; 18; 23 и др.].

На юге Западной Сибири расположено более 20 тысяч озер разного размера, водного режима, солёности и т.п. Для образования органоминеральных донных отложений необходимо, чтобы в озерной системе на фоне механического накопления терригенного материала реализовывались условия образования и захоронения органического вещества (ОВ). Образование сапропелевых отложений в данной работе рассмотрено на примере малых озерных систем Обь-Иртышского междуречья.

Комплексное изучение озерных систем включало геологические исследования водосборных бассейнов, геохимические исследования озерных вод, гидробиологический анализ, а также анализ сапропелей (фазовый и химический анализ неорганического вещества и элементный анализ органического вещества).

#### Методы исследования

Для исследования минерального и органического вещества используются различные аналитические методы. В данной работе макро- (Al, Fe, Ca, Mg, K, Na) и микроэлементный состав (Cd, Pb, Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Co, V, Hg, Be, Ba, Sr, Li) озерных вод и сапропелей определялся атомно-абсорбционным методом с использованием пламенных и электротермических методов атомизации. Минеральный состав исследовался с помощью рентгеноструктурного анализа на рентгеновском дифрактометре. Изучение морфологии, фазового и химического состава образцов сапропеля проводилось с использованием сканирующего электронного микроскопа MIRA 3 TESCAN. Анионный состав озерных вод (концентрации нитратов, хлоридов, бромидов, фторидов) определялся методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Содержание гидрокарбонатов анализировали методом потенциометрического титрования с использованием автоматического титратора АТП-02 (Аквилон, Россия) по методике ПНД Ф 14.2.99-97. Элементный анализ образцов сапропелей на содержание C, H, O, N и S выполнялся методом термического анализа.

#### Объекты исследования

Объектом исследования работы послужили 10 озерных систем, расположенные территориально в пределах Барабинской равнины. Озера Иткуль, Качкульня, Канкуль, относятся к Иткульской межгривно-лощинной системе озер расположенной в Каргат-Чулымском междуречье [9]. Озера Барчин, Бергуль, Камбала, Яргуль принадлежит к Омь-Тартаско-Васюганской межгривно-лощинной системе озер. Озера Кротова ляга, Кусган, Куклей принадлежат к Карасук-Баганской межгривной системе озер и расположе-

ны в пределах Кулундинской плоско-волнистой равнины, с ковыльно-разнотравными степями, развитыми на южных черноземах с солонцами и солончаками [8]. Материнскими породами для почв водосборных площадей озер являются озерно-аллювиальные глинистые отложения, покровные суглинки. Исходный материал почв образовался, из материала, который, поступал в рыхлые покровные отложения с ветром и водой в виде аллохтонного вещества, перемешиваясь с остатками коренных пород, и далее трансформировался в аллювиальные, делювиальные и лессовидные породы. Эти процессы привели к нивелированию химического состава почв юга Западной Сибири [20]. Существенное влияние на высокое накопление растворенного органического вещества в озерах лесостепных и степных ландшафтов Барабы оказывает характер рельефа [16]. Водосборами большинства озер являются склоны грив, и в кратковременные периоды стока озера быстро обеспечиваются всеми необходимыми элементами биогенного питания.

Во всех изученных озерах на разделе вода-дно образуется густая суспензия, постепенно переходящая в жидкий сапропель. Размер этого слоя варьирует от нескольких сантиметров до 50–60 см. Влажность этого слоя составляет 98–95%. Согласно литературным данным, именно этот слой изобилует бактериями, микрофлорой. В этом слое происходят процессы гидратации и окисления органического вещества, взаимодействия между коллоидами, укрупнения частиц, их слипания и коагуляции, растворения и осаждения новообразованных твердых фаз [12, 13]. Процесс сульфатредукции может интенсивно протекать в водах озер в результате микробиологических процессов за счет дополнительного воспроизводства гидрокарбонатной и карбонатной щёлочности [2, 7, 9, 10 и др.].

#### Аналитические данные и обсуждение результатов

Геохимические параметры озерных вод приведены на диаграмме Дурова представленной на рис. 1. По значению минерализации вод исследуемые озера изменяются от пресных (озеро Ярголь) до солоноватых (озера Канкуль, Иткуль, Куклей, Кротова ляга, Кусган) (рис. 1). Воды всех озер щелочные: от слабощелочных со значениями pH 8,4 (для озера Ярголь) до щелочных pH 9,3 (для озер Качкульня и Камбала). Воды большей части низко минерализованных озер (Качкульня, Бергуль, Камбала и Куклей), а также солоноватого озера Иткуль гидрокарбонатно-натровые, озер Брачина и Ярголь гидрокарбонатно-натрово-магниевые.

Состав солоноватых вод озер Канкуль, Кротова ляга может быть отнесен к хлоридно-карбонатно-натровому, озера Кусган к хлоридно-сульфатно-натровому. Соотношение Ca/Mg в водах изученных озер меньше единицы, за исключением вод озер Камбала и Ярголь в которых это соотношение равно 1,3. Если сопоставить эти значения со значениями общей минерализации воды озер, то выявляется дефицит кальция.

Согласно полученным аналитическим данным в водах изученных озер концентрации микроэлементов находятся

на уровне значений приведенных для северных озер Евразии [24] и фоновых содержаний для поверхностных вод юга Западной Сибири, за исключением некоторых полученных аномально высоких концентраций. Например, высокое значение марганца в воде озера Бергуль коррелирует с повышенным содержанием марганца в почвах водосборных площадей, а аномально высокое значение для цинка в воде озера Барчин пока не находит своего объяснения. Влияние ландшафта почв водосборных площадей на концентрации элементов в воде прослеживается для основных ионов воды, а также Fe, Sr и Al.

Исследованные озера по типу биологического вклада в формирование сапропелей делятся на планктоногенные (Бергуль, Барчин), макрофитогенные (Качкульня, Ярголь) и смешанные (Канкуль, Иткуль, Камбала, Кротовая Ляга, Кусган, Куклей). В преимущественно планктоногенных озерах макрофиты занимают, как правило, 1–2% площади водоема. В макрофитогенных (оз. Ярголь) планктон, как правило, разрежен и высоких показателей продукции не дает (таблица 1).

Площадь зарастания исследованных водоемов макрофитами составляет от 1 до 60%. Зоопланктон, отфильтровывая фитопланктон и бактерии, выделяет пеллетный материал – фекалии, упакованные в плотную оболочку. Пеллеты создают часть седиментационного потока. Оболочка пеллет копепод не позволяет материалу рассеиваться в пространстве и тормозит его бактериальную переработку. Пеллеты кладоцер подвергаются копрофагии и перерабатываются вторично, что ускоряет минерализацию биогенов. По имеющимся оценкам, в зависимости от трофности водоема его зоопланктоном ежесуточно профильтровывается от 5 до 90% объема воды озера [1, 5]. Расчеты исследователей показывают, что вклад физической седиментации в суммарную величину осаждения взвеси в слабопроточных озерах на несколько порядков меньше вклада биоседиментации, исключая лишь прибрежные участки. Авторами полученные величины пеллетного седиментационного потока составили 1,4–1,9 г сухой массы/

м<sup>2</sup>•сут.

Активно участвуют в образовании сапропелей микроорганизмы. В исследованных озерах широко распространены как бактерии рода *Sphaerotilus*, активно восстанавливающие железо, так и сульфатовосстанавливающим зубактерии, которым принадлежит ведущая роль в образовании сероводорода в природе, в отложении сульфидных минералов. Как правило, сульфатовосстанавливающие бактерии – облигатные анаэробы, однако существует немало штаммов, которые проявляют устойчивость к O<sub>2</sub> и выживают при разной длительности аэрирования среды. Таким бактериям необходим богатый органический субстрат, содержащий сахара, спирты, органические кислоты (в том числе жирные кислоты, содержащие до 18 углеродных атомов), аминокислоты, некоторые ароматические соединения.

Существует ряд различных систем для классификации сапропелей. Например, по соотношению органической и минеральной части многообразие сапропелевых отложений подразделяют на органические (зольность до 30%), органо-минеральные (зольность 30–50%), минерально-органические (зольность до 50–70%), минерализованные (зольность до 70–85%). По химическому и минеральному составу сапропелевые отложения подразделяются более подробно, с выделением видов сапропелевых залежей [9, 11 и др.].

Исследован элементный состав органического вещества сапропеля (Таблица 2).

Общее содержание органического вещества изменяется от 88,1% (для озера Качкульня) до 11% (озере Кротовая ляга). На основании этих результатов сапропеля классифицированы по типам. К органическому типу отнесен сапропель оз. Качкульня, органо-минеральному озер Барчин, Камбала, Ярголь и Куклей, минерально-органическому озера Бергуль, минеральному – озер Иткуль, Кротовая ляга и Кусган.

Изучен элементный состав минеральной составляющей сапропелевых отложений озер (таблица 3). Потери при прокаливании (ППП) могут быть использованы для оценки содержания органического вещества в сапропеле, которое изменяется от 86,17% в сапропеле озера Качкульня до 13,5% в сапропеле озера Кротовая ляга.

Суммарное содержание органического вещества для большей части озер оказалось несколько выше (таблица 2), чем оценивалось по потерям при прокаливании (таблица 3), что может объясняться вкладом некоторых минералов (карбонатов, сульфидов) и остаточной воды в общее содержание органоэлементного состава минеральной части сапропелей составляют оксиды кремния (59–5%), алюминия (13,7–1,2%), кальция (19,8–1,2%) и иногда железа (5,5–0,8%). Следовательно, в основном преобладают органо-силикатные сапропели (Ярголь, Куклей, Камбала, Бергуль) и силикатные (Иткуль, Канкуль) (иногда с небольшой примесью карбонатов (до 5%), и лишь сапропель

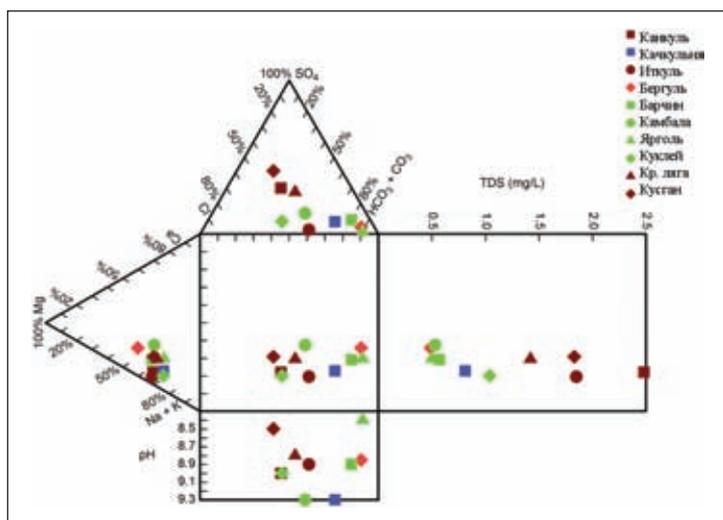


Рис. 1. Диаграмма Дурова, иллюстрирующая геохимические характеристики исследованных сапропелевых озер Новосибирской области

**Таблица 1.** Показатели сырой биомассы гидробионтов (минимальные и максимальные) в исследованных озерах с различным типом формирования сапропеля

Тип формирования сапропеля	Фитопланктон г/м <sup>3</sup>	Зоопланктон г/м <sup>3</sup>	Бентос г/м <sup>2</sup>	макрофиты г/м <sup>2</sup>	% зарастания макрофитами
Макрофитогенные	2,6–4,0	0,3–4,3	4,5–7,3	2 140–5 260	60
Планктоногенные	19,2–33,9	7,5–27,6	0,7–5,0	0–370	1
Смешанного типа	6,0–12,4	2,8–13,3	0,2–3,7	216–1 250	15

**Таблица 2.** Элементный (CHNOS) состав органического вещества сапропелей

Озеро	C, %	H, %	O, %	N, %	S, %	Σ, %	Тип сапропеля
Качкульня	43.26	5.05	32.16	3.01	4.6	88.1	Органический
Барчин	22.75	3.27	18.59	1.99	3.2	49.8	Органо-минеральный
Ярголь	34.99	4.58	26.73	3.23	2.4	71.9	Органо-минеральный
оз.Куклей	28.09	3.86	21.29	2.49	2.2	57.9	Органо-минеральный
оз. Камбала	26.69	3.73	28.02	1.8	2.3	62.5	Органо-минеральный
Бергуль	17.96	2.56	21.61	1.60	2.0	45.7	Минерально-органический
Иткуль	7.34	1.33	13.25	0.49	1.1	23.6	Минерализованный
Канкуль	7.28	1.04	12.77	0.45	1.2	22.7	Минерализованный
оз. Кротовая ляга	2.33	0.97	6.93	0.24	0.7	11.1	Минерализованный
оз.Кусган	4.71	1.88	10.57	0.47	1.3	18.9	Минерализованный

**Таблица 3.** Химический состав минеральной части сапропелей (потери при прокаливании – на воздухе при 900 °С)

Озеро	ППП, %	SiO <sub>2</sub> , %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	MgO, %	CaO, %	Na <sub>2</sub> O, %	K <sub>2</sub> O, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	SO <sub>3</sub> , %
Качкульня	86.2	5	1,2	0,8	1,4	2,6	0,3	0,2	0,1	1,8
Барчин	59.9	11	1,7	1,0	1,4	19,8	0,3	0,3	0,2	3,0
Ярголь	69.9	17	4,0	2,3	0,8	3,0	0,4	0,8	0,2	0,5
Куклей	58.4	26	5,8	2,2	1,4	3,1	0,7	1,1	0,3	0,4
Камбала	48.7	34	6,8	3,6	1,3	2,6	0,5	1,2	0,2	0,2
Бергуль	41.7	31	7,4	3,5	1,8	9,3	0,6	1,3	0,2	2,1
Иткуль	22.4	45	10,4	4,4	3,5	8,5	1,1	1,9	0,2	1,0
Канкуль	19.2	50	7,6	2,7	2,4	11,6	1,4	1,4	0,2	2,0
Кротовая ляга	13.5	59	13,7	4,9	1,8	1,2	1,2	3,0	0,1	0,1
Кусган	14.7	56	13,7	5,5	1,9	1,7	1,1	3,1	0,1	0,3

озера Барчин относится к органо-известковистым.

Полученные данные по элементному составу сапропелевых отложений хорошо согласуются результатами рентгенофазового анализа. Дифрактограммы сапропелей озера Качкульня, Ярголь, Куклей имеют ярко выраженное большое гало с максимумом в области  $2\theta \approx 20^\circ$   $2\theta$   $\text{SiK}_\alpha$ . Интенсивность аморфного гало коррелирует с содержанием органического углерода и концентрацией диатомовых створок (аморфного кремнезема) [17]. Минеральная часть донных отложений изученных озер представлена главным образом кварцем и малой примесью пирита, плагиоклаза, слюды и хлорита. В сапропелях озер Барчин, существенно доминирует низко-Mg кальцит (~80%), в подчиненных количествах обнаружены кварц ~10%, пирит ~5%, арагонит ~3%, плагиоклаз (следы). В озере Камбала минеральная часть представлена главным образом кварцем с малой

примесью пирита, кпш, плагиоклаза, слюды и хлорита. В донных осадках озер Канкуль, Иткуль, Бергуль, Кр.ляга, Кусган доминирует кварц и полевые шпаты, присутствуют Mg-кальцит, пирит, слюды, хлорит. Значительное сходство дифрактограмм разных озер, скорее всего, связано с однородным составом терригенной составляющей в почвах водосборных площадей (резкое преобладание кварца и полевых шпатов), что обусловлено однородным составом почвообразующих пород – покровными лессовидными суглинками.

Для обработки аналитических данных силикатного, гамма-спектрометрического, атомно-абсорбционного и термического анализов используют кластерный анализ. Кластер-анализ R-типа разбивает выборку химических анализов проб донных отложений на группы и проводит непосредственную корреляцию между изучаемыми хи-

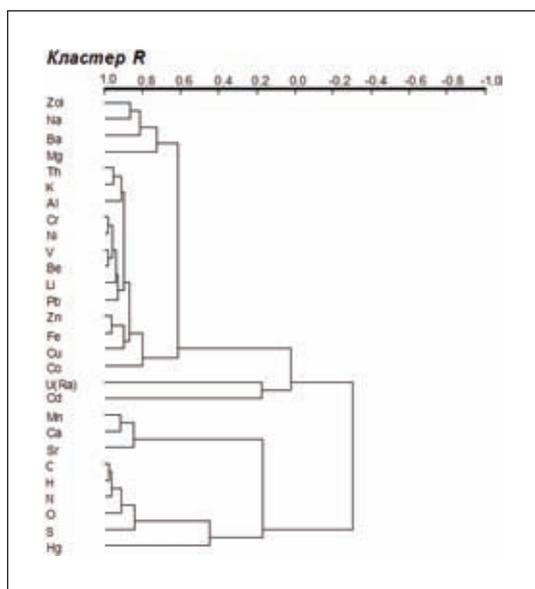


Рис. 2. Дендрограмма кластер-анализа R-типа макро- и микро-элементов. Zol – зольность донного осадка

мическими элементами (рис. 2). Как видно на дендрограмме кластера по макроэлементам и микроэлементам изученные элементы разбиваются на три группы с отрицательными коэффициентами корреляции между ними и обособлено располагаются уран и кадмий. В первой группе представлены такие породообразующие элементы как  $K_2O$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $FeO$ , составляющие терригенную (обломочную) часть донного осадка и отражающие состав полевых шпатов и кварца. К ним добавляются практически все изученные микроэлементы. Их концентрации в осадке возрастают в соответствии с увеличением зольности образца. Вторая группа Ca, Sr, Mn – элементы, которые входят в состав карбонатов, то есть их содержания зависят от наличия в донных отложениях карбонатных минералов. К третьей группе относятся органиогенные элементы (C, P, H, N, S), и ртуть, которая, по-видимому, содержится в осадке в виде органических соединений.

Обломочный материал поступает в донный осадок за счет его приноса в озера речными, снеговыми и дождевыми потоками, ветрового переноса выдуваемого из почв мелкозема, поэтому проведено сравнение содержаний элементов в сапропелевых отложениях озер с уровнями их концентраций в почвах водосборных площадей и почвообразующем субстрате. Установлено, что величины содержаний элементов находятся на уровне значений регионального фона для малых озер Сибири [19]. Проведено сопоставление средних содержаний элементов в различных компонентах озерных систем (субстрат – почва – донный осадок) в 2-х группах озер, расположенных в Иткульской

(Качкульня, Канкуль, Иткуль) межгорно-лощинных системах и в Омь-Тартаско-Васюганской (Барчин, Камбала и Бергуль) (рисунок 3). Тренд распределения элементов значимо не отличается в почвах водосборных площадей и почвообразующем субстрате для всех изученных озер, что подчеркивает ещё раз однородность почвообразующих пород на территории Барабинской равнины. В сравнении с составом верхней континентальной коры в почвообразующих породах выявлены более высокие концентрации V, Cr, Ni, Cu, Co, Zn, Li, Cd. Повышенные концентрации этих же элементов наследуются минеральным составом почв. В сапропелевых отложениях зафиксированы более высокие концентрации Ca, Sr, Mn в озере Барчин, и Ca, Mg, Mn, Sr в озерах Бергуль, Канкуль, Иткуль, в которых по данным РФА в донных отложениях присутствует кальцит. Присутствие в осадке значительных количеств органического вещества, которое является разубоживающим материалом относительно элементов минеральной части, определяет более низкие концентрации остальных элементов в донных илах относительно их содержаний в почвах водосборных площадей (за исключением U, Cd, Hg). Установлено избыточ-

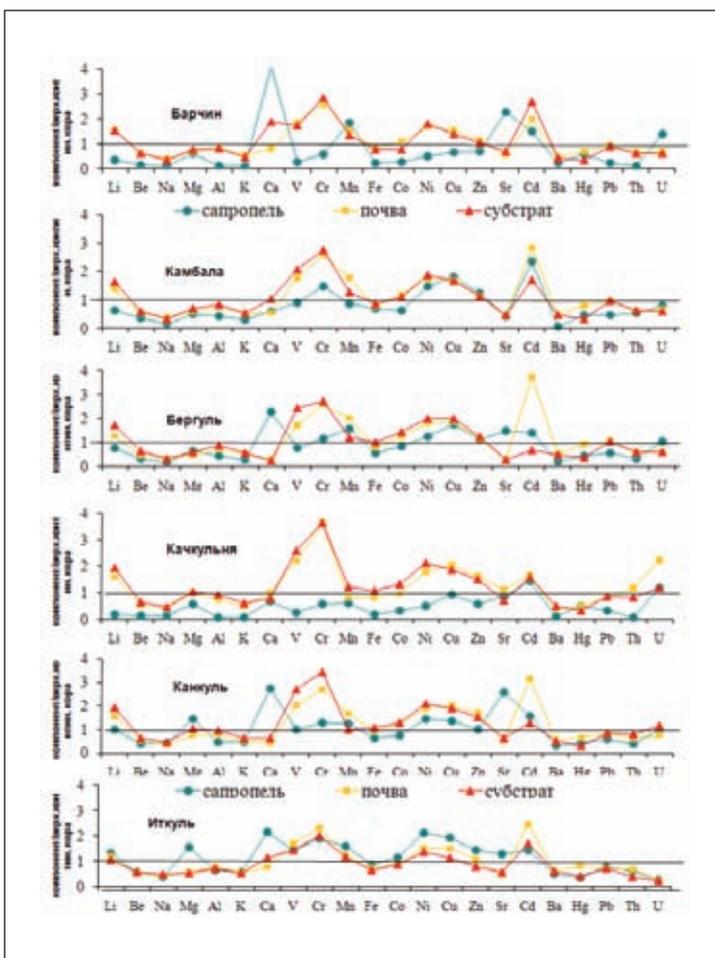
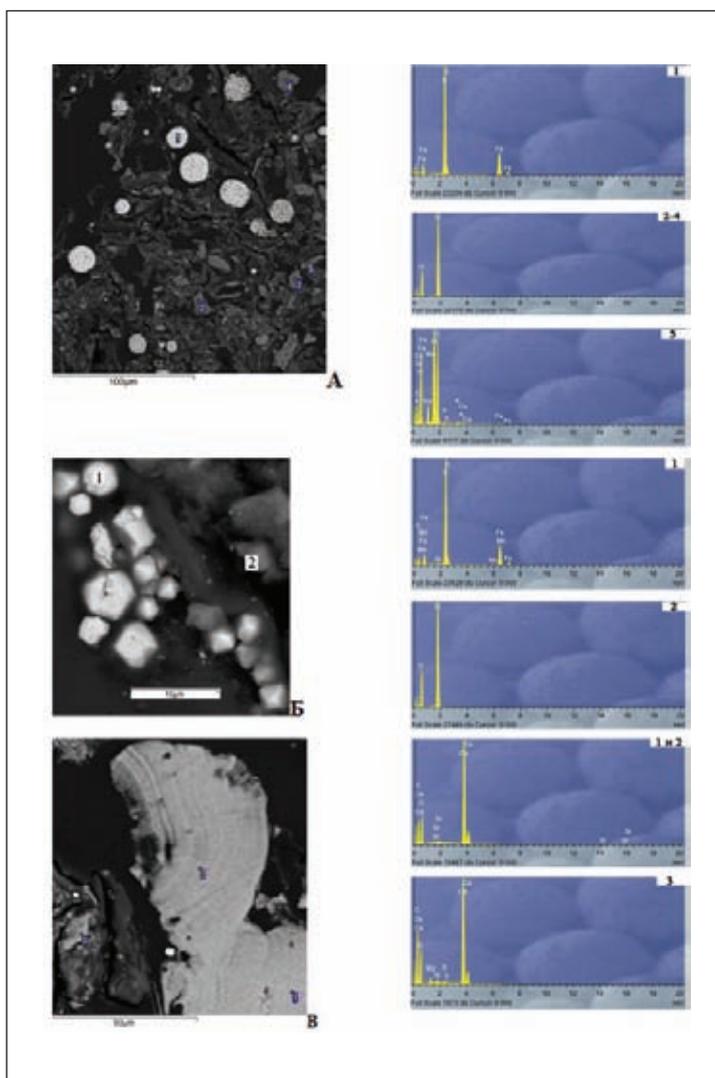


Рис. 3. Усредненные содержания элементов в сапропелях озер, почвах их водосборных площадей и почвообразующем субстрате нормированные к значениям концентраций верхней континентальной коры\* [25] в озерах Барчин, Камбала, Бергуль (Омь-Тартаско-Васюганской межгорно-лощинной системы) и Качкульня, Канкуль, Иткуль (Иткульской межгорно-лощинной системы)

ное накопление в процессе современного осадкообразования U и иногда Hg, Cd, что, скорее всего, связано с поступлением этих элементов не только с терригенным материалом в виде взвесей с водосборных площадей, но и с их биохимическим осаждением из воды озер. Из всех химических элементов Cd и Hg обладают максимальной способностью к ковалентному связыванию с белками [21]. Поэтому, при разложении органического вещества Cd и Hg попадают в поровые воды и включаются снова в миграционный процесс. Уран накапливается в донных отложениях, во-первых, в озерах, в которых pH воды  $>8,5$ . Такие физико-химические свойства воды благоприятствуют высокой подвижности уранил-карбонатных соединений натрия, которые становятся неустойчивыми при  $\text{pH} >9$  с образованием плохо растворимых оксидов урана  $\text{Na}_4[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3] + 2\text{NaOH} \leftrightarrow \text{UO}_3 + 3\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . Во-вторых, увеличение органогенной составляющей влечет за собой в некоторых случаях повышение концентрации урана в осадке. Общеизвестно, что органогенные илы обогащаются ураном в восстановительной обстановке при нейтральном или слабощелочном pH [19, 22].

Значения геохимических индексов V/Cr и Ni/Co в исследуемых органоминеральных отложениях озер равны  $1 \pm 0,1$  и  $2,5 \pm 0,2$  соответственно, а индекс  $V/(\text{Ni} + \text{V})$  варьирует от 0,62 до 0,70. Эти значения отвечают восстановительным условиям. Восстановительная обстановка с сероводородом подтверждается для сапропелевых залежей визуальными наблюдениями в полевых условиях (окисление осадка на воздухе, сильный запах сероводорода) и данными рентгеноструктурного анализа – наличие пирита.

Изучение образцов донных отложений методом сканирующей электронной микроскопии показало присутствие пирита в виде одиночных фрамбондов и их скоплений (рисунок 4А), кристаллов и групп кристаллов различного габитуса, распространенных по всей глубине разрезов (глубина до 1 метра) (рисунок 4Б) и чаще всего располагающихся в органической матрице. Можно полагать, что образование пирита происходит за счет процессов сульфатредукции под действием микробиоты. В сапропелевых отложениях озер Барчин, Бергуль кроме пирита выявлены зональные сферолиты кальцита (рисунок 4В). Обломки скелетов биоты и раковин в озере Барчин и Куклей сложены кальцитом. В других озерах состав скелетов биоты представлен – аморфным кремнеземом или органическим веществом с незначительной примесью кальция, кремния. Остальная минеральная часть осадков представлена отдельными обломками неокатонной формы кварца, полевых шпатов, слюд и хлоритов размерностью менее 25 микрон (рис. 4). Плаггиоклаз иногда замещается эпидотом,



**Рис. 4.** А. Фото сапропеля озера Камبالа: Россыпь пиритовых фрамбондов, 1 – пиритовый фрамбонд, состоящий из кубических микроиндивидов, 2–4 обломки кварца, 5 – хлорит; Б. Фото сапропеля озера Барчин: Россыпь одиночных кристаллов пирита октаэдрического и пентагонального габитуса, 1 – пирит, 2 – кварц; 2В. Фото сапропеля озера Барчин, срастание зонально-концентрических сферических индивидов кальцита, 1–2 сферический кальцит, 3 – кальцит. Фото получены с использованием сканирующего электронного микроскопа MIRA 3

хлоритом, а слюды – гидрослюдами. В виде одиночных неокатанных зерен встречены акцессорные минералы: ильменит, магнетит, рутил, циркон.

### Заключение

Геохимический ландшафт и слабопроточный режим вод малых озер Сибири создают благоприятные условия массового развития живых организмов. Анаэробная среда на границе фаз вода – осадок способствует массовому захоронению органического вещества на фоне механического накопления терригенного материала. Сопоставления полученных аналитических данных позволило разделить исследованные сапропелевые отложения озер по генетической классификации: Качкульня – органический; Камба-

ла, Ярголь, Куклей, Бергуль – органосиликатный; Барчин – органоизвестковистый; Канкуль, Иткуль, Кротовая ляга, Кусган – минерализованный алевритовый.

Влияние живого вещества на минеральную составляющую осадка проявляется в процессе биохимического образования пирита и кальцита в донных отложениях озер,

а также в накоплении ртути, урана и кадмия в донных отложениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта СО РАН №125 и проекта РФФИ №13-05-00341а.

## Литература

1. Безматерных Д.М. Оценка экологического состояния водоемов разной степени минерализации по структурным характеристикам зообентоса (на примере озер юга Западной Сибири) // *Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов: Матер науч. конф.* – Иркутск: ИГ СО РАН, 2005. – С.395–397.
2. Борзенко С.В., Замана Л.В. СУЛЬФАТРЕДУКЦИЯ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ СОДОВЫХ ВОД ОЗЕРА ДОРОНИНСКОЕ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ) // *Вестник ТГУ*, 2008. – №312. – С.188–193.
3. Вернадский В.И. *Очерки геохимии.* – М.: Наука, 1983. – 421 с.
4. Вернадский В.И. *Химическое строение биосферы Земли и её окружения.* – М.: Наука, 1965. – 375 с.
5. Гутельмахер Б.Л., Алимов А.Ф. Количественные закономерности фильтрационного питания водных животных // *Общие основы изучения водных экосистем.* – Л., Наука, 1979. – С.57–78.
6. Ермолаев Н.П., Чиненов В.А., Хорошилов В.Д., Матвейко П.Е. Металлы и органическое вещество в процессе преобразования биогенных осадков // *Сб. Развитие идей В.И. Вернадского в геологических науках (отв. редактор ак. А.Л. Яншин).* – М.: Наука, 1991. – С.58–70.
7. Заварзин Г.А. Планета Бактерий // *Вестник Российской Академии наук*, 2008. – Т.78. – №4. – С.328–345.
8. Зятькова Л.К., Лесных И.В. *Электронная библиотека СГГА: Монография. В 2-х т.* – Новосибирск: СГГА, 2004. – Т.2. – 316 с.
9. Курзо Б.В., Гайдукевич О.М., И.В. Кляуззе, П.А. Зданович **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА САПРОПЕЛЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ТИПА В ОЗЕРАХ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ БЕЛАРУСИ** // *Природопользование*, 2012. – Вып.21. – С.183–190.
10. Левшенко Т.В. Роль органического вещества при метаморфизации химического состава поровых вод современных бассейнов седиментации // *ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА*, 1981. – №04. – С.21–25.
11. Лопотко М.З. *Методические указания по поискам и разведке озерных месторождений сапропелей БССР.* – Мн., 1986. – 184 с.
12. Лопух П.С., Якушко О.Ф. *Общая лимнология. Учебное пособие.* – Минск, Наука, 2011. – 248 с.
13. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А., Кудрявцева Л.П. и др. **Зональные особенности формирования химического состава вод малых озер на территории Европейской части России** // *Водные ресурсы*, 2006. – Т.33. – №2. – С.163–180.
14. Никаноров А.М., Страдомская А.Г. **Химический состав органических и минеральных веществ иловых донных отложений незагрязненных водных объектов** // *Водные ресурсы*, 2006. – Т.33. – №1. – С.71–77.
15. Перельман А.И. *Геохимия.* – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.
16. Савченко Н.В. **Озера Южных равнин Западной Сибири** // ИГиА СОРАН. – Новосибирск, 1997. – 300 с.
17. Солотчина Э.П. **Дифференциальная диагностика и анализ типоморфизма ассоциаций, реальной структуры глинистых минералов в осадочных разрезах и корах выветривания** // Автореферат диссертации на соискание ученой степени д-ра геол.-минерал. наук. – Новосибирск, 2005. – 40 с.
18. Страхов Н.М. Бродская Н.Г., Князева Л.М., Разживина А.Н., Ратеев М.А., Сапожников Д.Г., Шишова Е.С. **Образование осадков в современных водоемах.** – Москва, АН СССР, 1954. – 791 с.
19. Страхов Н.С. *Основы теории литогенеза.* – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – Т.3. – 550 с.
20. Страховенко В.Д. **ГЕОХИМИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОЗЕР СИБИРИ** // Автореферат диссертации на соискания ученой степени доктора геолого-минералогических наук. – Новосибирск, 2011. – 36 с.
21. **Техногенез и биохимическая эволюция таксонов биосферы.** – М.: Наука, 2003. – 351 с.
22. Тутаева Н.А. *Ядерная геохимия: Учебник.* – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 336 с.
23. Холодов В.Н. *Геохимия осадочного процесса / отв. ред. Ю.Т. Леонов.* – М.: ГЕОС, 2006. – С.608.
24. Reimann C., Caritat P. *Chemical elements in the environment* // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. – 398 p.
25. Wedepohl K.H. *The composition of the continental crust* // *Geochim. Et Cosmochim. Acta*, 1995. – V.59. – №7. – P.1217–1232.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ БИООБЪЕКТОВ

Б.Х. Шаймарданова, Г.Е. Асылбекова, Н.П. Корогод

Павлодарский государственный педагогический институт, Павлодар, Республика Казахстан, [sbotagoz55@mail.ru](mailto:sbotagoz55@mail.ru)

### QUALITY ASSESSMENT AND FORECASTING OF ECOLOGICAL SECURITY OF URBAN AREAS ON THE EXAMPLE OF THE STUDY OF BIOLOGICAL OBJECTS

B.Kh. Shaimardanova, G.E. Asylbekova, N.P. Korogod

Pavlodar State Pedagogical Institute, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, [sbotagoz55@mail.ru](mailto:sbotagoz55@mail.ru)

**Abstract.** *Toxic elements distribution pattern in the «soils-plants-animals-people» system is established by the methods of physicochemical analysis. Accumulation of the investigated metals are presented in the geochemical series (Kc): in the soils (Pb30>Cd20>Zn15,8>Cu1,7), in leaves of *Betula pendula* (Zn1,9=Cu1,9>Cd1,7>Pb1,2) and *Populus nigra* (Cr21,6>Sb8, two>Zn6,7>Ba1,7>Co1,5>Sr1,1), in organs and tissues of the *Mus musculus* (Cd7,0>Cu2, two>Pb1,8>Zn1,4) and in human hair (Rb68,0>Zn4,3>Se2,6>Hg2,5).*

*Inhibition of common trees species living condition (47,6%), increase of fluctuating leaves asymmetry (on the phenological and morphological indexes) up to Kc=1,3–1,4, development pathology aggregating to a series of environmental sustainability – «*Betula pendula* > *Populus nigra* > *Pinus sylvestris* > *Acer negundo* > *Ulmus pumila*» are revealed.*

*Possible criteria for the accumulation of toxic elements in the system components «soil-plant-animal-man» are set. There were practical recommendations of the results usage of this research in the biological monitoring developed and implemented.*

Уровень активной техногенной нагрузки на городскую природную среду в промышленных центрах увеличивает степень экологического риска в целом для населения. Многофакторное антропогенное влияние на окружающую среду становится все более интенсивным и масштабным. Неблагоприятные факторы внешней среды, как природные, так и антропогенные, воздействуют на качество здоровья населения, вызывая сложный спектр ответной реакции организма: присутствие загрязнителей в органах и тканях, субклиническая патология, заболеваемость, смертность. В связи с этим биологический мониторинг за уровнем содержания химических элементов в урбозэкосистемах, состоянием биоты, приобретает исключительное значение. В условиях существующего мощного антропогенного пресса, выбросов в течение 50 лет от комплекса предприятий угольной и цветной металлургии, нефтеперерабатывающей промышленности, возросшего автотранспортного парка в г. Павлодаре здоровье населения испытывает достаточно сильное воздействие. Особенно важным становится изучение реакции биоты как приближенной к человеку модели профилактического воздействия, и в первую очередь, токсичных элементов – тяжелых металлов.

**Цель данного исследования** – оценка степени трансформации урбозэкосистемы химическими элементами-загрязнителями и разработка схемы комплексной оценки качества среды урбозэкосистемы с использованием современных и нетрудоемких при анализе биоиндикационных показателей в условиях техногенной нагрузки.

#### Материалы и методы исследования

Разнообразные аспекты реакции биоты на многофакторное техногенное воздействие проанализированы с помощью интеграции следующих методологических подходов: морфологический, цитогенетический, геохимический, биогеохимический, статистический и геоинформационный.

Объекты исследования: древесные растения массовых видов (более 73 тыс. растений). *Betula pendula* Roth. (3267), *Populus nigra* L. (22192), *Pinus sylvestris* L. (14726), *Ulmus pumila* (*Ulmus pinnato-ramosa* Dieck.ex Koehne) (10078), *Acer negundo* L. (22993); листья тополя черного *Populus nigra*, березы повислой *Betula pendula*; пыльца травяной растительности – пырей обыкновенный *Elytrigia repens* (*Agropyron repens* (L.) P. Beauv.) и одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale* Wigg.; биосубстраты (волосы) детей 12–14 лет.

Полученные результаты статистически обработаны по стандартным показателям с учетом малых выборок [1–4]. Построение таблиц, диаграмм и графиков проводили с помощью программ Statistica 6 и Microsoft Excel. Геоинформационный анализ распределения элементов, построение моноэлементных картосхем осуществляли с помощью программ Arc GIS 9.

Основная часть исследований проведена на базе Павлодарского государственного педагогического института (ПГПИ, г. Павлодар) в лаборатории системных экологических исследований. Изучение микроэлементного состава образцов биосубстратов (листья, волосы) проводили методом ИНАА на исследовательском реакторе ИРТ-Т в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования Томского политехнического университета (Россия).

Оценка экологического риска для урбозэкосистемы предусматривает необходимость разработки критериев оценки качества окружающей среды по показателям нарушений стабильности системы «почва – биота», включая человека. В настоящем исследовании проведена оценка степени экологического благополучия урбозэкосистемы в условиях длительного антропогенного воздействия с использованием комплекса биоиндикационных методов. Используемые методические подходы позволили проанализировать разнообразные биометрические параметры

(асимметрия листовых пластинок тополя), фенологические (жизненное состояние древесных растений), морфологические (стерильность пыльцы травяных растений, микроядра в эритроцитах человека), геохимические (элементный состав листьев, волос человека) показатели. Сравнение состояний звеньев цепи: «почва – растения – животные – человек» позволяет оценить прямую и обратную связь при взаимодействии антропогенного и природного компонентов урбозкосистемы такого уникального промышленного центра как г. Павлодар.

В настоящее время весьма широко распространенным приемом оценки степени экологического благополучия той или иной территории для проживания человека является районирование территории по степени техногенной трансформации с учетом уровня накопления тех или иных химических элементов в различных компонентах природных ландшафтов (вода, почва и т.д.), а также в живых организмах. В работах А.П. Авцына, Ю.Г. Покатилова, Л.П. Рихванова, Н.В. Барановской, Е.Т. Жанбуршина, А.Б. Бигалиева и других [5–9] приведены примеры такого рода картографирования.

Известны примеры изучения экологических параметров урбосистем в различных зонах Казахстана. Так, для аридной зоны Северного Прибалхашья К.К. Муздыбаевой [10] рассмотрены антропогенные модификации ландшафтов, отражающие уровни экологической напряженности, и разработана система мероприятий по оптимизации урбопромышленной геосистемы. Л.М. Павличенко [11] применил методологию системного моделирования геозкосистем, процессов формирования гидрохимической обстановки некоторых речных бассейнов, а также г. Павлодара. М.Н. Мадияровым [12] на примере Усть-Каменогорска создана геоинформационная система, позволяющая контролировать и моделировать загрязнение воздушного бассейна промышленного города. В.Л. Санжак и А. Махмудов [13] разработали алгоритмическую модель развития биологического сообщества, которая может быть обработана на ЭВМ с учетом разного внешнего воздействия. Е.Т. Жанбуршин применил при экологической оценке влияния загрязнителей нефтегазового комплекса на природную среду математическую модель расчета воздействий повышенных концентраций пыли и углеводородов в атмосферном воздухе на возрастание заболеваемости органов дыхания у детей из Мангистауской области [8].

В конце 80-х – начале 90-х гг. прошлого века казахстанскими учеными было проведено углубленное эколого-геохимическое исследование разнообразных сред (почвы, снежный покров, здоровье населения) Павлодарской области [14]. В период 2004–2007 гг. при изучении природной среды (почва, снег, растительный субстрат) геохимическими методами в г. Павлодаре были начаты исследования по зонированию территории по степени экологической опасности [15, 16].

Повышенные концентрации загрязнителей на территориях, прилегающих к источникам техногенных эмиссий, создают предпосылки для токсического поражения живых организмов, населяющих эти участки. Воздействуя в первую очередь на жизнеспособность и репродуктивность

особей, загрязнители могут оказывать существенное влияние на популяционные характеристики и вызывать сокращение численности и фрагментацию естественных популяций животных, снижая в итоге устойчивость природных экосистем в целом [17]. По мнению Н.И. Базилевича и А.А. Титляновой [18] специфичность обменных процессов зависит от биотического круговорота и системы обменных процессов в автотрофной наземной экосистеме. Для крупных промышленных центров, таких как Павлодар, где функционируют горно-перерабатывающие предприятия, производственный цикл которых сопровождается потоками и ролами рассеяния токсичных элементов, весьма актуальной является проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Наибольшую экологическую опасность, по мнению многих специалистов [19], для здоровья населения промышленных городов представляют отвалы пустой отработанной породы. Многолетние складированные хвостохранилища некондиционных пород имеют повышенное содержание рудных элементов и являются источником продолжительного поступления ТМ и агрессивных сульфатных вод в окружающую среду.

Как следует из результатов наших исследований, пыль с высоким содержанием тяжелых металлов (ТМ) с поверхностей отвалов легко переносится ветром на прилегающие территории. Субстрат хвостохранилищ постепенно размывается и уносится потоками, загрязняя водоемы и грунтовые воды, что приводит к постепенной деградации растительного покрова прилегающих экосистем. Токсичные соединения включаются в биогеохимические круговороты, поступают через почву, гидросферу и атмосферу в растения, корма, продукты питания, в организмы животных и человека. Типичная картина наблюдается на территориях, прилегающих к хвостохранилищам алюминиевого завода, отвалам трех ТЭЦ и других предприятий в восточной и северной промышленных зонах Павлодара. Дополнительное поступление свинца и цинка также возможно 21 путем внутрипочвенного выветривания легких песчаных почв и распространение аэрогенным путем.

Природная среда г. Павлодара в условиях многолетнего техногенного воздействия испытывает возрастающую нагрузку. С целью оценки экологических рисков необходима разработка критериев для оценки качества окружающей среды по показателям нарушений стабильности развития растительных организмов. Широкое распространение получил в последнее время морфогенетический подход, основанный на оценке внутрииндивидуальной изменчивости морфологических структур – флуктуирующей асимметрии (ФА). Незначительные ненаправленные различия между правой и левой сторонами листовой пластинки являются результатом ошибок в ходе индивидуального развития организма. Биологический мониторинг с использованием метода асимметрии листьев позволяет оценивать состояние окружающей среды и проявление сопряженности морфофизиологических особенностей растений с экологической обстановкой. Установлено, что при возрастающем техногенном воздействии уровень асимметрии увеличивается [20–22].

Метод оценки асимметрии билатеральных признаков

основан на анализе симметрии мерных или количественных признаков живых организмов. Исходным является положение, что минимальный уровень ФА должен иметь место лишь при оптимальных условиях развития. При стрессовых воздействиях этот показатель возрастает, отражая отклонение в процессе онтогенеза. Предполагается известной генетически заданная норма развития, а любые отклонения признака от симметричности означают отклонение от этой нормы. Традиционный подход к оценке ФА в популяционной выборке основан на вычислении среднего значения или частоты встречаемости ассиметричных признаков.

Одним из показателей состояния природной среды и воздействия загрязняющих веществ является снижение жизнеспособности и фертильности пыльцы растений [23]. Цитогенетический метод анализа стерильности применялся в исследованиях Н.С. Эйгеса [24] для анализа жизнеспособности и стерильности пыльцы и позволил выявить причины возникновения нарушений в мейозе у мутантов озимой пшеницы. Индивидуальный подход в изучении фертильности пыльцы в работе А.И. Шаповой и Т.А. Потаповой [25] у гибридных растений позволил выявить существенный полиморфизм по этому признаку во всех исследованных гибридных комбинациях.

Морфологические изменения цитоплазмы пыльцевых клеток, в конечном итоге, вызывают ее стерильность, т.е. неспособность мужского гаметофита вызывать полное оплодотворение и прорасти на соответствующих тканях пестика.

Растительность является важнейшим и динамичным компонентом биосферы, определяющим биогеохимию микроэлементов. Во многих жизненных процессах, происходящих в растениях на молекулярном уровне, микроэлементы принимают самое активное участие. Процессы поглощения микроэлементов из окружающей среды связаны в первую очередь с основным источником их поступления в растения – с почвой, а также с поступлением химических элементов из атмосферы. Поэтому химический состав растений часто отражает химический состав среды обитания. Микроэлементный состав растительности ярко отражает особенности окружающей среды: как природной ее составляющей, так и техногенного фактора.

Чувствительность некоторых древесных растений к техногенным факторам больших городов проявляется в виде увеличения концентраций Fe и Zn, Pb, Co, Cd. По данным некоторых авторов [26, 27] на территории вокруг ТЭЦ установлены нитратные, марганцевые, хромовые, никелевые, свинцовые и ванадиевые положительные аномалии в листьях ивы, березы. В городской среде растения оказываются в условиях хронического азротехногенного загрязнения, вызывающего изменения физиолого-биохимических процессов.

Согласно современным представлениям, биота формирует и контролирует в биосфере потоки вещества и энергии, обеспечивая постоянство параметров окружающей среды (ОС). Для более полной оценки состояния окружающей среды и прогнозирования рисков для здоровья населения г. Павлодара необходима эколого-геохимическая

оценка территории с использованием биосубстратов человека. Волосы человека как перспективный тест-объект широко используется в современных исследованиях Adekola F. A., Khalique A., Afridi [28–31].

Нами проведены исследования качества «зеленого фонда» как индикатора состояния промышленного города, включая оценку жизненного состояния и фитопатологию массовых видов древесной растительности. Жизненное состояние городских древесных посадок проявляется на территории города не однозначно. Ранжирование обследованных участков г. Павлодара по данному показателю отражено в ряду: восточная промзона > северная промзона > северо-западная часть > западная часть > юго-восточная часть. Ранжирование по экологической устойчивости изученных видов древесных растений представлено следующим образом: береза повислая – тополь черный – клен ясенелистный, сосна обыкновенная – вяз приземистый. Нами установлено, что для озеленения в техногенно-агрессивной городской среде Павлодара наиболее пригодна береза повислая, как адаптированный к антропогенному воздействию вид. Вяз приземистый в условиях городской среды в большей степени угнетен и большинство его посадок требуют массовой замены. Приблизительно одинаковой устойчивостью обладают тополь, клен и сосна, которые могут использоваться для озеленения. Эти данные согласуются с исследованиями Н.К. Шуленбаевой [32] и А.У. Чукпаровой [33] по использованию в качестве тест-объекта сосны обыкновенной в целях фитохемоиндикации загрязнения металлами территорий Алматы.

Анализ пространственного распределения угнетенных деревьев выявил неравномерность, очаговость фито-заболеваемости и приуроченность неблагополучных по жизненному состоянию деревьев к северной и восточной промзонам города. Полученные данные согласуются с исследованиями М.С. Панина и др., установивших мозаичное, высокой степени загрязнение почв и снежного покрова в промышленных зонах г. Павлодара [34].

Применение нами в комплексном биомониторинге метода анализа асимметрии листьев березы повислой позволило оценить состояние природной среды г. Павлодара и проявление сопряженности морфофизиологических особенностей растений с экологическими факторами среды обитания.

Установлен неравномерный уровень флуктуирующей асимметрии (ФА) на территории г. Павлодара. Повсеместно по городу отмечено превышение показателя ФА листьев березы повислой над фоновым от 1,2 до 1,4 раза. При этом посадки березы повислой отмечены нами как наиболее адаптированные к техногенно-агрессивной среде среди рассматриваемых пяти массовых видов. Проявление высокой (3 и 4) степени аномалии листьев носит локально-очаговый характер и наиболее выражено на пойменных западных участках с плотными древесными посадками, что позволяет предполагать барьерную функцию лиственной кроны берез, расположенных по руслу трансграничной р. Иртыш и по направлению господствующих ветров западного и юго-западного направления.

В нашем исследовании рассмотрено проявление

стерильности на примере повсеместно встречающихся в газонных посадках видов *Elytrigia repens* и *Taraxacum officinale*. Среднее значение стерильности пыльцы *Elytrigia repens* по городу составляет 87,5 на 3000 пыльцевых зерен при диапазоне 7,0–184, что в сравнении с фоном (4,7) выше в 1,4–39,1 раза (в среднем – в 18,6 раз). Выявлена неблагоприятная ситуация и в состоянии репродуктивного потенциала *Taraxacum officinale*. Стерильность в среднем составила 48,2 при диапазоне 15,8–89,7 клеток. В сравнении с фоном (3,12 на 3000 пыльцевых зерен) выше в 5–28,5 раз (в среднем – в 15,4 раза). Аномальная пыльца в сборах составляет 3% и 6% у *Taraxacum officinale* и *Elytrigia repens* соответственно.

Сравнительный анализ пространственного распространения стерильных пыльцевых зерен у данных видов позволил выделить как наиболее экологически неблагоприятные участки: северо-западный и северо-восточный район, непосредственно граничащие с северной промышленной зоной, а также восточный и юго-восточный, приближенные к восточной промышленной зоне. Таким образом, установлена повышенная стерильность рассмотренных массовых видов травяных растений вблизи промышленных зон и автодорог.

Эти данные на примере двух массовых видов трав свидетельствуют о повышенной стерильности растений в урбоэкосистеме Павлодара в сравнении с фоновым уровнем, т.е. о существовании риска снижения репродуктивного потенциала травянистых растений, которые являются важным буферным компонентом в структуре зеленого фонда города и вносят значительный вклад в очищение воздушной среды. Травяной газонный покров с одной стороны, адсорбирует на своей поверхности многие аэрогенные токсиканты, а с другой – накапливает водорастворимые ингредиенты при корневом питании, очищая верхний почвенный слой. Снижение жизнеспособности пыльцы приземного растительного яруса, может в дальнейшем проявиться в снижении репродуктивной активности и, в целом, на воспроизводстве биомассы газонных растений.

На основе проведенного нами биогеохимического анализа листьев тополя (методом ИНАА) выделены 2 группы микроассоциаций: Lu, Ce и Sm, La, Th, Sc, которые могут поступать в составе пыли зольных промышленных выбросов.

Региональными специфическими элементами, в отличие от других городов, в листьях тополя в г. Павлодаре являются хром, цинк, кобальт, сурьма. В урбанизированной зоне в сравнении с фоном в большей степени накапливаются токсичные элементы в листьях деревьев, что может быть обусловлено выбросами от городских промышленных предприятий и автотранспорта.

Анализ данных показал, что имеются региональные отличия концентраций ТМ (Zn, Cd, Pb, Cu) в листьях *Betula pendula* в различных участках города [368, С.38]. Статистические показатели содержания химических элементов в листьях *B. pendula* в г. Павлодаре позволяют сделать вывод о геохимической специфике распределения элементов в листьях березы повислой. В целом для города характерно свинцово-кадмиево-цинковое загрязнение листьев *Betula*

*pendula*. В отдельных очагах Кс достигает максимальных значений: Zn<sub>1,9</sub>, Cu<sub>1,9</sub>, Cd<sub>1,7</sub>, Pb<sub>1,2</sub>.

Экологическое районирование демонстрирует, что наиболее напряженная экологическая ситуация по сумме показателей характерна для участков вблизи восточной промышленной зоны, где расположены алюминиевый завод (ПАЗ) и ТЭЦ-1. Почвы в этой части города отмечены нами и другими исследователями [15, 16, 34] как наиболее загрязненные ТМ.

Исследования биосубстратов детей (волосы) показали, что элементный состав волос пространственно связан с накоплением экологически значимых элементов в различных природных средах (почва, снег, растительность и др.). Уровни накопления элементов изменяются по мере приближения к источникам техногенного воздействия преимущественно в сторону увеличения. На территории г. Павлодара выделены 3 ассоциации химических элементов: 1 – барий, кобальт, железо, хром, скандий; 2 – ртуть, гафний, церий, самарий; 3 – кальций, золото. Между первой и второй ассоциацией прослеживается значимая связь. Можно сделать предположение, что комплекс перечисленных групп элементов определяется сочетанным воздействием на организм человека предприятий топливной энергетики (Павлодарские ТЭЦ 1, 2, 3, Аксуская ГРЭС и Экибастузские ГРЭС 1, 2), работающими на угле, а также нефтехимического и химического предприятий, расположенных в северной промышленной зоне Павлодара.

Среди локальных источников возможного поступления перечисленных металлов могут быть Экибастузская ГРЭС-2, золоотвалы Экибастузских разрезов, Аксуский завод ферросплавов, ТЭЦ и Аксуская ГРЭС, работающие на угле. Также существует фактор трансграничного переноса по долине реки Иртыш, выше по течению которой расположены Семипалатинский ядерный полигон и промышленные предприятия г. Усть-Каменогорска.

На исследованной территории расположен большой комплекс предприятий, в том числе предприятия нефтехимии, что оказывает большое влияние на концентрацию ТМ в волосах детей. Содержание Hg, Ba, Sb, Zn, Cr в волосах детей максимально в северной части города. На данной территории города функционирует нефтеперерабатывающий, химический, тракторный заводы и 2 ТЭЦ.

Высокое содержание ртути, хрома, кобальта и цинка наблюдается на территории, расположенной по розе ветров (запад, юго-запад) и прилегающих к реке Иртыш. В западной части города (северо-западная, западная и юго-западная часть) коэффициент концентрации хрома, кобальта, бария и ртути выше, чем в восточной части города (северо-восточной, восточной и юго-восточной), что свидетельствует о едином источнике их поступления.

Эти данные позволяют утверждать, что уровень накопления изученных химических элементов в волосах отражает степень техногенного влияния развитого промышленного комплекса г. Павлодара и прилегающих к нему территорий. При этом как минимум могут быть выделены 3 группы главных источников воздействия: предприятия угольной энергетики и металлообрабатывающей промышленности (Hg, Zn, Fe); химическая промышленность (Hg,

Se, Rb); нефтехимическое производство (Zn, Se, Br, Ba).

Количественные данные по элементному составу волос детей позволяют выделить участки с максимальной техногенной трансформацией природных сред в г. Павлодаре, что может быть использовано для целей экологического нормирования территории. По степени экологического неблагополучия участки города образуют ряд: северо-западный = северо-восточный участок > западный > юго-западный, т.е. выражена приуроченность к северной промзоне, соответствие розе ветров и трансграничному потоку р. Иртыш.

Содержание химических элементов (ХЭ) в волосах детей из изученных населенных пунктов отличаются от данных, опубликованных в научных изданиях [31, 35–39]. Содержание серебра и лютеция в волосах детей Павлодарской области аналогично содержанию этих элементов в волосах детей Томской и Челябинской областей. По геохимическому спектру наиболее разнообразной является территория г. Павлодара, о чем свидетельствует техногенная специфика микроэлементного состава волос детского населения города. Выявлена геохимическая специфика

элементов (Кс) высокой токсичности на территории г. Павлодара для субстратов человека:  $Rb_{68,0} > Zn_{4,3} > Se_{2,6} > Hg_{2,5}$ . В соответствии с данными других исследователей подтверждается существование цинкового загрязнения, а также накопление токсичных элементов 1–3 классов опасности (свинца, кадмия, кобальта, хрома, никеля и стронция) как в почвах, так и в биоте городской среды. Спектр изученных элементов из волос детей позволяет утверждать о наличии одинаковых источников поступления химических элементов из окружающей среды.

Таким образом, повышенное содержание в биообъектах хрома, скандия, железа, гафния, тербия, ртути характерно для участков, расположенных на северо-западе, западе и юго-западе г. Павлодара. Данные участки прилегают к реке Иртыш и расположены по направлению доминирующих ветров. Загрязнение данных участков г. Павлодара может происходить как аэрогенными эмиссиями от ГРЭС гг. Экибастуза и Аксу, так и при трансграничном переносе по р. Иртыш от выше расположенных промпредприятий и исторических отходов Восточно-Казахстанской области.

## Литература

1. Плохинский Н.А. Биометрия. – Новосибирск: Наука, 1970. – 164 с.
2. Поцелуев А.А., Сарнаев С.И. Методические указания к выполнению цикла лабораторных работ с элементами научных исследований по курсу «Математические методы в геохимических исследованиях». – Томск: Изд. ТПУ, 1994. – 38 с.
3. 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.* – Томск, 2000. – Т.2. – С.246–248.
4. Михальчук А.А. Статистический анализ эколого-геохимической информации: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 235 с.
5. Авцын П.А., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
6. Покатилев Ю.Г. Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы (экологические проблемы химии биосферы и здоровья населения). – Новосибирск: Наука, 1993. – 168 с.
7. Рихванов Л.П. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость. – Томск, 2006. – 216 с.
8. Жанбуршин Е.Т. Экологическая оценка влияния загрязнителей нефтегазового комплекса на природную среду (на примере Мангистауской области): дис. ... докт. техн. наук. – Актау: КарГУ им.Е.А. Букетова, 2005. – 275 с.
9. Бигалиев А.Б. Генетические эффекты ионов металлов: Монография. – Алма-Ата: Наука, 1986. – 136 с.
10. Муздыбаева К.К. Геоэкологическое влияние Балхашского промышленного узла на окружающую среду северного Прибалхашья: дисс...к.г.н. // *Сборник рефератов НИР и ОКР.* – Алматы, 2007. – 137 с. – Инв.№0407РК01333.
11. Павличенко Л.М. Системное моделирование геоэкологических объектов: дисс...д.г.н. // *Сборник рефератов НИР и ОКР.* – Алматы, 2007. – 296 с. – Инв.№0507РК00214.
12. Мадияров М.Н. Численное моделирование загрязнения воздушного бассейна промышленного города: дисс...к.т.н. // *Сборник рефератов НИР и ОКР.* – Усть-Каменогорск, 2007. – 135 с. – Инв.№0407РК01139.
13. Санжак В.Л., Махмудов А. К вопросу алгоритмизации моделей развития сообществ // *Объединенный научный журнал*, 2008. – №12. – С.47–49.
14. Эколого-географический атлас городов и промышленных центров Казахстана. – Алматы, 2001. – Т.1,2. – 800 с.
15. Гельдымамедова Э.А. Тяжелые металлы в почвах и овощных культурах г. Павлодара Республики Казахстан: автореф. ... канд. биол. наук.:03.00.16. – Новосибирск.: Новосибирский государственный аграрный университет, 2007. – 23 с.
16. Ажаев Г.С. Оценка экологического состояния г. Павлодара по данным геохимического изучения жидких и пылевых атмосферных выпадений: автореф. ... канд. геолого-минералогических наук: 25.00.36. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2007. – 25 с.
17. Мухачева С.В., Безель В.С. Роль мелких млекопитающих в формировании биогеоценных циклов химических элементов в наземных экосистемах // *III Международная научная конференция – биоразнообразие и роль зооценоза в естественных и антропогенных экосистемах.* – Днепрпетровск, 2005. – 488 с.
18. Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных экосистемах. – Новосибирск: СО РАН, 2008. – 66 с.
19. Бабошкина С.В., Горбачев И.В., Пузанов А.В. Содержание и особенности поглощения Cu, Zn, Pb, Cd, Fe растениями северо-западного Алтая в условиях техногенного воздействия // *Экологическая безопасность урбанизированных территорий в условиях устойчивого развития: материалы Международной научно-практической конференции.* – Астана, 2008. – С.349–354.
20. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье

- среды: методика оценки. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
21. Дмитриков В.П. Биотестирование в комплексном мониторинге природных сред // Энерготехнологии и ресурсосбережение, 2008. – №6. – С.63–66.
  22. Захаров В.М., Жданов Н.П., Кирик Е.Ф. Онтогенез и популяция: оценка стабильности развития в природных популяциях // Онтогенез, 2001. – Т.32. – №6. – С.404–421.
  23. Бессонова В.П., Об использовании микрогаметного поколения в семействе Розоцветных для биоиндикации природной среды // Экология, 1992. – №4. – С.45–50.
  24. Эйгес Н.С. Мейоз у мутантов озимой пшеницы и их цитогенетическая характеристика. Генетика, биохимия и цитология мейоза. – Москва, 1982. – 114 с.
  25. Щапова А.И., Потапова Т.А. Генетическая обусловленность образования реституционных ядер в мейозе полигаплоидов. Цитогенетика сельскохозяйственных растений. – Новосибирск, 1989. – 412 с.
  26. Салманов А.Б., Эфендиева Т.Ф. Эколого-оптимальные параметры содержания химических загрязнителей в почвах // Материалы 3-й Российской биогеохимической школы. – Новосибирск: Изд-во Сиб. отд. РАН, 2000. – С.175.
  27. Баранова Л.А. Экологический мониторинг состояния атмосферного воздуха, почвы и растительности вокруг ТЭЦ г. Тюмень // Актуальные проблемы геохимической экологии: материалы V междунар. биогеохимической школы. – Семипалатинск: СГПИ, 2005. – С.324.
  28. Adekola F.A.; Dosumu O.O.; Olaleye G.A. Comparative study of the age and location dependence of some heavy metals in human hair from two Nigerian cities // Toxicological & Environmental Chemistry, 2004. – Vol.86. – №4. – P.191–196.
  29. Khalique A.; Shah M.H.; Jaffar M.; Shaheen N.; Manzoor S.; Tariq S.R. Status of Selected Heavy Metal Distribution in Scalp Hair of Traffic Control Personnel Exposed to Vehicular Emissions // Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2005. – Vol.11. – №5. – P.1065–1075.
  30. Khalique A.; Shah M.H.; Jaffar M.; Shaheen N.; Tariq S.R.; Manzoor S. Scalp hair metal analysis in the assessment of the occupational exposure of arc welders. Toxicological & Environmental Chemistry, 2006. – Vol.88. – №4. – P.697–704.
  31. Afridi H.I.; Kazi T.G.; Jamali M.K.; Kazi G.H.; Arain M.B.; Jalbani N.; Shar G.Q. Analysis of Heavy Metals in Scalp Hair Samples of Hypertensive Patients by Conventional and Microwave Digestion Methods // Spectroscopy Letters, 2006. – Vol.39. – №2. – P.203–214.
  32. Шуленбаева Н.К. Фитохемоиндикация загрязнения территорий Алматы металлами с использованием в качестве тест-объекта индикации сосны обыкновенной: автореф. ... канд. хим. Наук / Ин-т ботаники и фитоинтродукции. – Алматы, 2002. – 32 с.
  33. Чукпарова А.У. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на сосну обыкновенную (*Pinus silvestris*): автореф. ... канд. биол.наук. КазНУ. – Алматы, 2005 – 28 с.
  34. Панин М.С., Эколого-геохимическая характеристика почв г. Павлодар Республики Казахстан / М.С. Панин, Э.А. Гельдымамедова // Вестник ТГУ, 2006. – №292. – С.171–177.
  35. Саев Ю.В. Антропогенные геохимические аномалии свинца // Свинец в окружающей среде. – М.: Наука, 1987. – С.130–149.
  36. Скальный А.В. Микроэлементозы человека (диагностика и лечение). – М.: Изд-во КМК, 1999. – 96 с.
  37. Барановская Н.В. Общая характеристика элементного состава волос детей южной части Томской области // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: материалы IV-междунар. научно-практ. конф. (Семипалатинск, 19–21 октября 2006 года). – Семипалатинск: СГПИ, 2006 – Т.П. – С.433–441.
  38. Барановская Н.В., Корогод Н.П., Шаймарданова Б.Х., Бугалиев А.Б. Сравнительный анализ элементного состава волос детей из техногенных центров России и Казахстана // Вестник КазНУ. Серия экологическая, 2008. – №1(22). – С.89–97.
  39. Юдина Т.В., Гильденскиольд Р.С., Егорова М.В. Определение тяжелых металлов в волосах. // Гигиена и санитария, 1988. – №2. – С.50–52.

## ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ

И.В. Шилова

НИИ фармакологии СО РАМН, Томск, Россия, [inessashilova@mail.ru](mailto:inessashilova@mail.ru)

### PHARMACOLOGICAL ASPECTS OF THE STUDY OF CHEMICAL ELEMENTS IN PLANTS

I.V. Shilova

Institute of Pharmacology research Siberian branch Russian academy of medical sciences, Tomsk, Russia, [inessashilova@mail.ru](mailto:inessashilova@mail.ru)

**Abstract.** In work presents data on the pharmacological effects of chemical elements rendered plants. Presented the evidence of the fact that the elements have an effect on the metabolism, the nervous, immune, endocrine, cardiovascular system. Elements are part of the enzyme. They are able to give to other biologically active substances and harmless digestible form, while potentiating their effect.

Лекарственные растения содержат биологически активные вещества (БАВ) органического происхождения (флавоноиды, сапонины, алкалоиды, полисахариды и др.), которые оказывают фармакологическое действие, но и неорганические компоненты, играющие роль в формировании фармакологического эффекта и обладающие собственной активностью. Многие биоэлементы способны

образовывать комплексные соединения и таким образом служить ключевыми интермедиатами в физиологических и биохимических процессах. Макро-, микро- и ультрамикрэлементы оказывают существенное влияние на обменные процессы, нервную, иммунную, эндокринную, сердечно-сосудистую систему, а также являются составной частью ферментов [1, 8, 9, 13, 15], способны придавать другим

БАВ легкоусвояемую и безвредную форму, одновременно потенцируя их эффект.

Биоэлементам принадлежит важное значение в функциональной деятельности нервной системы [1, 5, 6, 8–10, 13–15, 17]. Так, ЦНС наиболее чувствительна к ионам Вг, которые равномерно накапливаются в различных отделах мозга и способствуют восстановлению нарушенного равновесия между процессами возбуждения и торможения. Cd, Co, Fe, Zn, Cu оказывают влияние на течение основных нервных процессов коркового возбуждения и торможения в коре больших полушарий головного мозга. Mn участвует в процессе синтеза и обмена нейромедиаторов в ЦНС, нормализует мышечный тонус; является кофактором формирования межклеточных контактов с участием интегринов, что необходимо для процессов клеточного роста (рост дендритов, аксонов и формирование нейрональных сетей); регулирует обмен инсулина и липидов. Na играет значительную роль в нервной проводимости. Li ускоряет пресинаптическую инактивацию катехоламинов и, таким образом, угнетает высвобождение трансмиттеров из синапса, снижает чувствительность постсинаптических рецепторов. Указанные механизмы корректируют гиперактивность катехоламинергической системы, которая определяет наличие маний. Патологическое повышение или понижение аффективной деятельности нивелируется до нормы. Комплекс Co с АТФ оказывает антигипоксическое и нейропротекторное действие при диффузной хронической церебральной ишемии. P входит в состав АДФ и АТФ, являющихся универсальным источником энергии для всех живых клеток. Мозговая ткань является лидером по способности накапливать микроэлементы. Доказано усиление действия многих нейротропных средств под влиянием микроэлементов.

Многие биоэлементы входят в состав протеолитических групп ферментов, в частности, супероксиддисмутазы (Zn, Cu, Mn), каталазы (Fe), играющих ключевые роли в антиоксидантной защите клеток и тканей. Так, на молекулу церулоплазмينا приходится 16 атомов Cu, обуславливающих окислительную активность этого белка, защищающего компоненты крови от токсического действия активных форм кислорода. Кроме того, Cu содержится в дофамин-β-гидроксилазе, цитохром-С-оксидазе, аминоксидазе, а Zn входит в состав металлоферментов – оксидоредуктазы, трансферазы, гидроксилазы. Mg – обязательный участник синтеза всех нейропептидов в головном мозге, он входит в состав 13 металлопротеинов и более 300 ферментов, в том числе глутатионсинтазы; снижает возбуждение в нервных клетках и расслабляет сердечную мышцу. Нейротропный витамин B<sub>12</sub> содержит Co. Rb является синергистом и аналогом K, поэтому активирует пируватфосфокиназу, альдегиддегидрогеназу и другие ферменты; способствует насыщению крови кислородом. Cr – постоянная составная часть растительных и животных организмов; усиливает липолитическую активность сыворотки крови и является кофактором инсулина (глюкозный фактор толерантности) в организме. Sn входит в состав желудочного фермента гастриина, оказывает влияние на активность флавиновых ферментов, способно усиливать процессы роста. Биологи-

ческая роль Sb до сих пор не выяснена. Известно, что ее соединения токсичны, однако, с другой стороны, она обнаружена в растениях, в организмах животных и человека. Sb избирательно концентрируется в печени, селезенке и щитовидной железе. Интересно, что в плазме крови в основном накапливается Sb<sup>5+</sup>, а в эритроцитах Sb<sup>3+</sup>. Для нормального развития растений необходимы редкоземельные элементы, которые входят в состав важнейших для агрохимии минералов – фосфоритов и апатита. Известны растения – биохимические индикаторы La и его аналогов (напр., гикори, люпин, сахарная свекла) [1, 2, 8–10, 13–15, 17, 19, 28, 30]. Лантана ацетат оказывает церебропротекторный эффект при ишемии головного мозга, не уступая по степени активности циннаридину [6]. Тантал с добавлением небольшого количества железа предложено использовать для ускорения свертывания крови.

Имеются сведения об участии Mg, Zn, B, радиоактивных элементов в проявлении противоопухолевой активности экстрактов растений. Экспериментально установлено [12], что настой травы манжетки, содержащий эссенциальные и условно-эссенциальные макро- и микроэлементы, проявляет противоопухолевую и антималярийную активность в отношении карциномы легкого Льюис (LLC) (ТРО % от 20 до 37 %, ТРМ % от 28 до 32 %), а также он ингибирует процесс лимфогенного метастазирования саркомы-37 (S-37) на 29 % и увеличивает продолжительность жизни животных (УПЖ = 34 %). Кроме того, настой снижает общетоксическое действие циклофосамида.

Соли Co, Mn, Rb в оптимальных концентрациях являются иммуномодуляторами. Иммуномодулирующий эффект микроэлементов обусловлен, в первую очередь, входением их в состав многих ферментов и оболочек клеток, а в ферментативных наборах различных популяций клеток отмечены существенные различия. Поэтому Zn, Cu, Li, Se, Fe, Mn, Co, Rb, Cs, даже не обладая специфическими иммуномодулирующими свойствами, способны изменять иммунологическую реактивность организма [11].

Комплексы переходных металлов (Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd) с органическими веществами проявляют высокий фунгистатический эффект [29].

Кроме того, микроэлементы, входя в состав ферментов, участвуют в качестве активатора в биосинтезе ряда БАВ растений. Так, Cu, Mn, Fe, Zn, B, Co способствуют биогенезу фенольных, а Mo, V, Mn, Cu, Sr – тритерпеновых соединений [13], играющих важную роль в проявлении антиоксидантной, ноотропной, гепатопротекторной и иммуно-тропной активности [20, 24–26, 31] лабазника вязолистного.

Отдельные элементы также определяют фармакологическую активность лекарственных растений [18]. Например, слоевица ламинарии (бурые водоросли накапливают I) используют при заболеваниях щитовидной железы; сфагнум (концентратор Ag) применяют для лечения ран; сырье крапивы, тысячелистника, зайцегуба опьяняющего, богатое Ca и Mg, используют для терапии заболеваний с внутренними кровотечениями; побеги черники, содержащие высокие концентрации Mn и A1, применяют в терапии сахарного диабета. Сумму неорганических веществ растений как лекарственное средство в официальной медици-

не не используют, но она находит применение в народной медицине. Например, в народной медицине Бурятии для лечения ран, ожогов, трофических язв применяют золу сушеницы топяной.

В результате химико-фармакологического изучения растений Сибири [27], обладающих ноотропными свойствами, установлено, что экстракт княжика сибирского на 25% этаноле обладает ноотропной и адаптогенной активностью: улучшает условно-рефлекторную деятельность и показатели ориентировочно-исследовательского поведения животных, увеличивает работоспособность и адаптацию к физическим нагрузкам. В фармакологически активной бутанольной фракции растения обнаружены фенолоспирты, флавоноиды, кумарины, фенолкарбоновые кислоты, дубильные вещества, тритерпеновые сапонины, полисахариды, аминокислоты. Во фракции также выявлено содержание неорганических компонентов, которые представляют интерес в связи с их не изученностью. При сжигании фармакологически активной фракции зола составила 2,4%. Методом эмиссионной спектрометрии установлено наличие в ней 18 элементов (в том числе 6 микроэлементов и 11 ультрамикроэлементов), девять из которых являются эссенциальными или условно эссенциальными микроэлементами [21]. На основании полученных данных составлен ряд предпочтительного содержания элементов в бутанольной фракции растения:  $Mg > Fe > Cu > Al > Ta > Cr > Ni > W > Mn > V > Pb > Cd > Ti > Sn > Mo > Zn > Co, Bi$ . Исследования активной фракции методом нейтронной активации [22] позволили установить наличие 14 элементов, из которых 13 являются микро- и ультрамикроэлементами. Среди обнаруженных элементов четыре – эссенциальные или условно эссенциальные.

Суммарную фракцию освобождали от наиболее гидрофильных компонентов осаждением ацетоном из метанольного раствора 3:1. Полученный фильтрат упаривали и получали ацетоновую фракцию (96,6% от массы исходной фракции и 1,65% от массы воздушно-сухого сырья). Разделение ацетоновой фракции осуществляли первоначально методом колоночной хроматографии на полиамиде (Woelm, Германия) на колонке с сорбентом в соотношении 1:6, элюируя последовательно водой, смесью вода – метанол (1:1) и метанолом. Согласно хроматографическим данным, в метанольной фракции преобладающими явились неорганические компоненты, для отделения которых данную подфракцию подвергали рехроматографии. С этой целью ее вносили в колонку с Kieselgel 60 silanisiert (Merck, Германия) в соотношении 1:40, элюируя водой, смесью вода – метанол (1:1 → 1:2) и метанолом. При промывании колонки водой получили подфракции 1 (выход 50%) и 2 (выход 7,8%), которые представляют основную часть фракции. В ИК-спектрах (KBr, вазелиновое масло) указанных подфракций отсутствуют или слабо проявляются характеристические полосы поглощения органических веществ. Кроме того, при сжигании доминирующих подфракций 1 и 2 зола составила 92,7% и 63,3% соответственно. При хроматографическом разделении неорганических компонентов активной фракции растения выявлены некоторые закономерности распределения элементов. В под-

фракцию 1 максимально элюируются Fe, Rb и Ce – микроэлементы, составляющие значительную часть зольного остатка подфракции. Далее в подфракцию 2 переходят в преобладающей концентрации Na, Ba, Cr, Br – элементы, представляющие основную часть зольного остатка фракции, и Sb, La, Co, Th, Hf, Au и Sc. На основании полученных данных составлен ряд предпочтительного накопления элементов:  $Na > Fe > Ba > Cr > Br > Sb > Rb > La > Co > Ce > Th > Hf > Au, Sc$ , который также указывает, что в активной фракции княжика сибирского в преобладающей концентрации содержатся Na, Fe, Ba, Cr и Br – элементы, отражающие основную составную часть золы подфракций. Далее следуют микроэлементы (Sb, Rb, La и Co), которые, предположительно, характерны для данного растения [23] и преимущественно накапливаемые активной фракцией. Микроэлементы, присутствующие в гораздо меньших концентрациях, являются, по-видимому, отражением геохимической специфики среды произрастания растения за счет естественной (природной) составляющей и техногенной компоненты.

Элементная специфика активной фракции княжика сибирского относительно надземной части растения, изученной ранее [23], представлена по коэффициенту накопления следующим образом:  $Na_{32} - Sb_{10} - Cr_5 - Br_2 - Th_{0,8} - Ce_{0,7} - La_{0,6} - Hf_{0,5} - Au_{0,4} - Ba_{0,2} \dots$ . Наибольшей концентрацией во фракции характеризуются первые четыре элемента, имеющие значение коэффициента накопления более 1. Проведенные исследования показали, что существуют различия в содержании ряда элементов в активной фракции и надземной части растения. Примечательным фактом является накопление во фракции в преобладающей концентрации Na, Sb, Cr и Br – элементов, составляющих основную часть зольного остатка. Кроме того, следует отметить достаточно высокое содержание редкоземельных элементов (La, Ce) и Th. В тоже время для других элементов, играющих значительную роль в нормальном функционировании живых организмов и содержащихся в значительных количествах в надземной части княжика сибирского [23], не характерен переход в активную фракцию. Таким образом, в активной фракции в преобладающей концентрации содержатся Na, Fe, Ba, Cr и Br. На основании полученных результатов можно предполагать участие изученных компонентов фракции в процессах нервной и сосудистой регуляции различных функций организма.

Изучение влияния элементов, содержащихся в доминирующей концентрации в фармакологически активной фракции княжика сибирского, воспроизведенных искусственно из минеральных солей, осуществляли на ориентировочно-исследовательское поведение на модели «открытое поле», на обучение и память – при выработке и воспроизведении условного рефлекса пассивного избегания (УРПИ), анксиолитический эффект оценивали по поведению крыс в условиях конфликтной ситуации по Vogel [16]. Состав, содержащий магния сульфат (64,67%), железа (II) сульфат (22%), меди (II) сульфат (13%) и хрома (III) хлорид (0,33%), вводили животным в желудок в виде раствора в воде очищенной за 1 ч до тестирования в дозах 0,96, 3,84, 19,2 и 76,8 мг/кг. В качестве препарата сравнения использовали фе-

назепам (ОАО «Валента Фармацевтика», Россия) в дозе 1 мг/кг. Интактные животные получали эквивалентное количество воды очищенной. В результате исследования установлено, что исследуемый состав проявляет психостимулирующие и анксиолитические свойства, улучшает сохранность условного рефлекса пассивного избегания.

В результате химико-фармакологического изучения [27] надземной части лабазника вязолистного установлено, что экстракт на 70 % этаноле проявляет выраженное ноотропное действие. В фармакологически активной этилацетатной фракции экстракта обнаружены различные представители фенольных и тритерпеновых соединений, макро- и микроэлементы, доминирующими из которых являются: Ca, Na, Fe, Zn, Cr, Vg и др. Учитывая возможность проявления биологической активности макро- и микроэлементов, представляло интерес изучение влияния суммы элементов, содержащихся в доминирующей концентрации во фракции, воспроизведенной искусственно из минеральных солей, на ориентировочно-исследовательское поведение и условно-рефлекторную деятельность животных [3]. Состав, содержащий кальция хлорид (75,85 %), натрия хлорид (18,97 %), железа (II) сульфат (4,26 %), цинка сульфат (0,76 %), хрома (III) хлорид (0,11 %) и калия бромид (0,05 %), вводили зондом в желудок в виде раствора в воде очищенной за 1 ч до тестирования в дозах 0,96, 3,84, 19,2 и 76,8 мг/кг в тесте «открытое поле» и за 1 ч до первого тестирования (побежки) в дозе 3,84 мг/кг в модели условного питьевого рефлекса в сложном трёхзвенном Т-образном лабиринте. Исследование влияния состава на ориентировочно-исследовательское поведение и услов-

но-рефлекторную деятельность у нормальных животных выявило активацию ориентировочно-исследовательского поведения и улучшение условно-рефлекторной деятельности в эксперименте. Установлены психостимулирующие и ноотропные эффекты исследуемого состава, наиболее выраженные в дозах 3,84 мг/кг.

Экстракт альфредии поникшей на 95 % этаноле обладает выраженной ноотропной, антидепрессантной активностью [27]. В фармакологически активной водной фракции экстракта обнаружены азотсодержащие соединения (амины, аминокислоты), углеводы, флавоноиды, макро- и микроэлементы, доминирующими из которых являются K, Mg, Zn, Rb и др. Исходя из вышеизложенного, перспективным явилось изучение влияния состава элементов, содержащего K, Mg, Zn и Rb, воспроизведенного искусственно из минеральных солей, на поведение животных в условиях моделей «поведенческого отчаяния» и при выработке и воспроизведении УРПИ [4]. Состав, содержащий калия хлорид (98,44 %), магния (1,05 %) и цинка (0,42 %) сульфаты, рубидия нитрат (0,09 %) вводили зондом в желудок в виде раствора в воде очищенной за 1 ч до тестирования в дозах 4,68, 18,72, 93,6 и 374,4 мг/кг. На моделях «поведенческого отчаяния» по Порсольту, УРПИ исследована антидепрессивная, психостимулирующая и ноотропная активность состава. Установлено, что состав сокращает время иммобилизации в тесте Порсольта, способствует сохранности УРПИ. Наиболее выраженный психостимулирующий эффект состав проявляет в дозе 4,68 мг/кг, антидепрессантный – в дозе 18,72 мг/кг. Наибольшую ноотропную активность состав оказывает в дозе 93,6 мг/кг.

## Литература

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А. и др. Микроэлементозы человека : этиология, классификация, органопатология. – М.: Мир, 1991. – 478 с.
2. Акарачкова Е.С. Дефицит магния : клиника, диагностика, терапия // Фарматека, 2007. – №20. – С.26–30.
3. Афанасьева О.Г., Суслов Н.И., Шилова И.В. Психостимулирующее и ноотропное действие состава из макро- и микроэлементов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, 2012. – Т.154. – №8. – С.188–191.
4. Афанасьева О.Г., Суслов Н.И., Шилова И.В. Антидепрессивное, психостимулирующее и ноотропное действие средства из макро- и микроэлементов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, 2013. – Т.155. – №2. – С.167–169.
5. Громова О.А., Панасенко О.М., Скальный А.В. Элементный анализ и ферментативная антиокислительная активность нейрометаболических препаратов природного происхождения // Фармация, 2001. – №1. – С.21–23.
6. Гуляев С.М. Церебропротекторное действие лантана ацетата при экспериментальной ишемии головного мозга: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Улан-Удэ, 2004. – 21 с.
7. Гуревич К.Г. Нарушения обмена микроэлементов // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии, 2002. – №2. – С.7–14.
8. Кабата-Пендиас А. Проблемы современной биогеохимии микроэлементов // Российский химический журнал, 2005. – Т.XLIX. – №3. – С.15–19.
9. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 373 с.
10. Кудрин А.В., Громова О.А. Микроэлементы в неврологии. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. – 304 с.
11. Куркин В.А., Акимова Н.Л., Е.В. Авдеева, В.Н. Ежов. Иммуноная система и иммунокорректоры. – Самара: СамГМУ, 2003. – 176 с.
12. Мурын И.И. Фитохимическое и фармакологическое изучение травы манжетки: автореф. дис. ... канд. фарм. наук. – Москва, 2011. – 24 с.
13. Ноздрюхина Л.Р., Гринкевич Н.И. Нарушение микроэлементного обмена и пути его коррекции. – М.: Наука, 1980. – 280 с.
14. Райцес В.С. Нейрофизиологические основы действия микроэлементов. – Л.: Медицина Л.О., 1981. – 152 с.
15. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. – М.: Мир, 2003. – 272 с.
16. Суслов Н.И., Шилова И.В., Афанасьева О.Г. Влияние состава из макро- и микроэлементов на ориентировочно-исследовательское поведение и условно-рефлекторную деятельность животных // Традиционная медицина, 2011. – №5. – С.388–393.
17. Тагдиси Д.Г., Алиев С.Д. Микроэлементы и здоровье. – М.: Знание, 1979. – 64 с.
18. Танцерева И.Г. Лекарственные растения и перспективы использования лекарственного растительного сырья: автореф. дис. ... канд. фарм. наук. – Томск, 2004. – 24 с.
19. Улахович Н.А. Комплексы металлов в живых организмах // Соросовский образовательный журнал, 1997. – №8. – С.27–

- 32.
20. Чурин А.А., Масная Н.В., Шерстобоев Е.Ю., Шилова И.В. Влияние экстракта *Filipendula ulmaria* на иммунную систему мышей СВА/СaLac и С57BL/6 // *Экспериментальная и клиническая фармакология*, 2008. – Т.71. – №5. – С.32–36.
21. Шилова И.В. Исследование биологически активных веществ *Atragene speciosa* Weinm. // *Бюллетень Сибирской медицины*, 2002. – №2. – С.35–39.
22. Шилова И.В., Барановская Н.В., Сырчина А.И. и др. Аминокислотный и элементный состав активной фракции княжика сибирского // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*, 2008. – №3. – С.34–37.
23. Шилова И.В., Краснов Е.А., Барановская Н.В. и др. Элементный состав надземной части *Atragene speciosa* Weinm. // *Растительные ресурсы*, 2002. – Т.38. – Вып.4. – С.69–74.
24. Шилова И.В., Краснов Е.А., Короткова Е.И. и др. Антиоксидантная активность экстрактов надземной части лабазника вязолистного // *Химико-фармацевтический журнал*, 2006. – Т.40. – №12. – С.22–24.
25. Шилова И.В., Семенов А.А., Суслев Н.И. и др. Химический состав и биологическая активность фракции экстракта лабазника вязолистного // *Химико-фармацевтический журнал*, 2009. – Т.43. – №4. – С.7–11.
26. Шилова И.В., Суслев Н.И., Провалова Н.В. и др. Ноотропная активность экстрактов надземной части лабазника вязолистного // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*, 2008. – №4. – С.24–26.
27. Шилова И.В., Суслев Н.И., Самылина И.А. Химический состав и ноотропная активность растений Сибири. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2010. – 236 с.
28. Anke M. *Mengen- und Spurenelemente*. – Jena: Schiller – Universität, 1998. – 1055 p.
29. Parekh H.M., Patel M.N. Mode of antifungal activity and synthesis of mixed-ligand complexes // *Химико-фармацевтический журнал*, 2006. – Т.40. – №12. – С.18–21.
30. Planells E., Sanchez C., Montellano M.A. et al. Vitamin B<sub>6</sub> and B<sub>12</sub> and totale status in an adult Mediterranean population // *European Journal of Clinical Nutrition*, 2003. – Vol.57. – P.775–785.
31. Shilova I.V., Zhavoronok T.V., Souslov N.I. et al. Hepatoprotective Properties of Fractions from Meadowsweet Extract during Experimental Toxic Hepatitis // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 2008. – Vol.146. – №1. – P.49–51.

# ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ



## ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА В ПОЧВАХ г. ПАРИЖ

Ж.Е. Абикеева

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия и Университет Париж SUD-XXI, Франция

## EVALUATION OF NITROGEN IN SOILS OF THE CITY PARIS, FRANCE

Zh.E. Abikeeva

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia and the University of Paris SUD-XXI, France

**Abstract.** *In this article we consider accumulation and distribution of nitrogen in the soil of Paris, depending on the depth of the soil. The studies revealed that the accumulation of nitrogen at different depths are not uniform. The highest concentration of this element was found in soil samples from Paris at a depth of 30–40 cm. These soil samples were also analyzed for carbon. According to research is observed correlation between carbon and nitrogen. The content of these elements varies with the age of the soil and trees. CHN method was used to determine the level of accumulation of nitrogen in the soil depending on the age and the influence of woody plants. In this study it was found that the total nitrogen content in the soil increases with the age of trees, but to a lesser degree than carbon.*

В современных условиях негативное влияние антропогенного фактора на окружающую среду представляет серьезную проблему, изучению которой все больше и больше стали уделять внимание. Возрастающее количество техногенного загрязнения биосферы связано в основном с деятельностью промышленных предприятий, расположенных в жилых районах городов и практически не имеющих санитарно – защитных зон. Это создает сложную геоэкологическую ситуацию [1].

К особенно загрязняющим факторам человеческой деятельности относятся автотранспортные средства и, в некоторых случаях, производство энергии, которые изменяют баланс природной среды и компонентного состава почвы, что сопровождается выделением большого количества азота. Антропогенез существенно нарушил естественные процессы биологической фиксации и миграции азота, хотя биогенные источники вносят преобладающий вклад в накопление связанного азота в биосфере по сравнению с техногенными [2]. Одним из важнейших индикаторов загрязнения окружающей среды урбанизированных территорий являются городские почвы. Крупные города, являющиеся часто промышленными центрами, имеют ряд проблем связанных с загрязнением всех природных сред [3].

В данной работе мы исследовали пробы почвы г. Парижа. Для оценки накопления азота в почве были учтены следующие параметры: глубина почвы, возраст деревьев, древесные породы.

Цель работы: изучить почвы г. Парижа на содержание

азота для прогнозирования состояния урбанизированных территорий и выявления специфики накопления элемента.

Для реализации поставленных целей выполнены следующие задачи:

1. Изучить содержание азота в почвах разной глубины г. Париж;
2. Провести сравнительный анализ в накоплении азота

**Таблица 1.** Статистические параметры распределения азота в почвах г. Париж

	Класс	1	2	3
Максимум	A 10–30 cm	0,139	0,292	0,290
	A 30–40 cm	0,23	0,31	0,21
Минимум	A 10–30 cm	0,074	0,100	0,123
	A 30–40 cm	0,091	0,08	0,122
Среднее	A 10–30 cm	0,109	0,159	0,178
	A 30–40 cm	0,13	0,13	0,15
Стандартное отклонение	A 10–30 cm	0,020	0,059	0,056
	A 30–40 cm	0,030	0,06	0,026
Коэффициент вариации	A 10–30 cm	18,390	37,218	31,425
	A 30–40 cm	23,954	45,544	17,009
Стандартная ошибка	A 10–30 cm	0,006	0,018	0,018
	A 30–40 cm	0,007	0,013	0,007
Медиана	A 10–30 cm	0,113	0,139	0,159
	A 30–40 cm	0,11	0,11	0,15

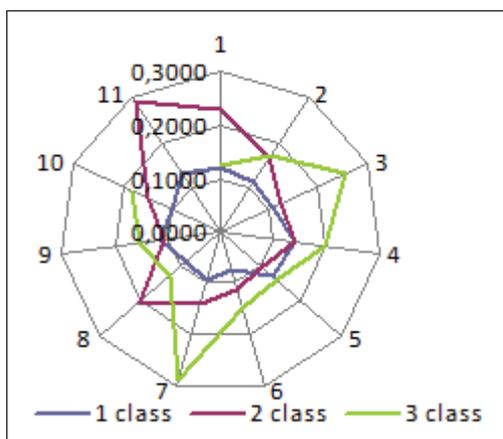


Рис. 1. Диаграмма накопления азота на глубине 10–30 см

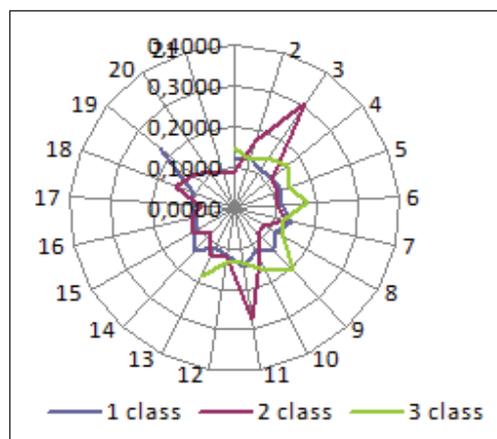


Рис. 2. Диаграмма накопления азота на глубине 30–40 см

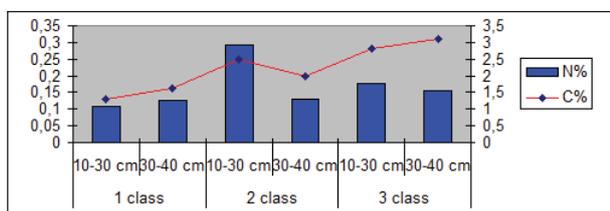


Рис. 3. Диаграмма распределения азота и углерода в почвах различной глубины

та в пробах почвы различной глубины.

В таблице базовых статистических данных (табл. 1) представлены значения, полученные методом анализа CHN (масс/мг). Данные были проанализированы с использованием основных статистических параметров. Стандартная ошибка была рассчитана с уровнем достоверности 95 % и ошибка является минимальным для нашей выборки.

Статистика показывает, что распределение азота в почвах г. Париж неравномерно. Есть места с аномальными значениями, на это указывают такие показатели, как стандартное отклонение и коэффициент вариации. Статистический анализ показывает, что распределение элементов в норме. Так как коэффициент вариации находится в диапазоне от 17,01 до 45,5, это указывает на симптомы расщепления.

Данные графики отображают распределение азота в пробах почвы на глубине 10–30 см и 30–40 см, что показывает накопление этого элемента в разных классах. График (рис. 1) показывает, что в третьем классе в почве на глубине 10–30 см накопление азота больше, чем содержание этого элемента в других классах и график (рис. 2) показывает, что в первом классе почвы на глубине 30–40 см значение азота меньше.

Данные пробы почвы были проанализированы также на содержание углерода (по данным А. Степановой). На примере данного графика показано увеличение азота и углерода во втором классе почвы, на глубине 10–30 см. Наблюдается корреляционная связь между углеродом и азотом. Содержание данных элементов колеблется в зависимости от возраста почвы и деревьев.

Метод CHN был использован для определения уровня накопления азота в почве в зависимости от возраста и влияния древесных растений. В этой работе было установлено, что общее содержание азота в почве увеличивается с возрастом деревьев, но в меньшей степени, чем углерод. Это привело к следующим выводам:

1. В почвах класса 1 минимальное накопление азота может быть связано не только с возрастом Земли, возрастом деревьев, но и обновлением слоя почвы. Это может быть объяснено различным происхождением почв. Может быть, эта теория неверна. Таким образом, мы должны рассмотреть накопление азота в динамической перспективе, в отношении химических свойств почвы, связанных с течением времени. Существует связь между наличием питательных веществ (азота и углерода) и ростом растений. Известно, что рост после посадки имеет важное значение для корней деревьев, которые потребляют питательные вещества в почве. Таким образом происходит процесс поглощения питательных веществ из почвы.
2. На глубине 30–40 см, количество азота увеличивается, что возможно, связано с характером почвы, климата, геологии, природы процесса водообмена, живыми бактериями, и многими другими факторами. Это может быть связано с жизненными процессами растений и устойчивости системы поглощения и выделения азота. Возможно, есть и другое объяснение: изменения в азоте, связанные с возрастом, накладываются на сезонные колебания, особенно в листьях лиственных деревьев. Деревья, которые имеют большую часть годового роста в начале вегетационного периода, используют в это время много азота.
3. В классе 3 почвы на глубине 10–30 см азота меньше, чем на второй год, но больше в классе. Это может быть связано с тем, что почва обновляется, и есть также более интенсивный обмен с окружающей средой. Кроме того, за счет сбора в городе опавших листьев нет времени для разложения органических веществ и азот плохо запасается.

Результаты показывают, что накопление азота на различных глубинах не являются единообразными. Есть много факторов, которые влияют на азот, которые были перечислены выше. Для каждого городского района почвы, с учетом всех факторов, в том числе городское давление на них, должны подвергаться более всеобъемлющей оценке, в зависимости от типа растений и микроорганизмов.

Выявленные взаимосвязи между двумя элементами

### Литература

1. Жиров В.К., Голубева Е.И., Говорова А.Ф., Хаумбаев А.Х. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на крайнем севере. – М.
2. Becel C. Soil penetration resistance, a suitable soil property to

N и C, показывают способность деревьев поглощать углекислый газ, что повышает концентрацию CO<sub>2</sub> в атмосфере, и наоборот. Все образцы были собраны возле деревьев, расположенных вдоль дорог. В связи с этим, деревья имеют возможность использовать избыток азота в почве в ответ на увеличение CO<sub>2</sub>. Это приводит к обеднению почвы и деревья вырабатывают меньше углекислого газа.

account for variations in root elongation and branching. // *Plant and Soil*, 2012. – №353. – P.169–180.

3. De Kimpe C., Morel J.L. Urban soil management : a growing concern. // *Soil Science*, 2000. – №165(1). – 31–40.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗОЛЕ ЛИСТВЫ ТОПОЛЯ ЧЕРНОГО *Populus nigra L.*

Г.Е. Асылбекова, Б.Х. Шаймарданова, Н.П. Корогод

Павлодарский государственный педагогический институт, Павлодар, Казахстан

### COMPARATIVE ANALYSIS OF TOXIC ELEMENT ACCUMULATION IN THE BLACK POPLAR LEAVE ASH, *Populus nigra L.*

G.E. Asylbekova, B.Kh. Shaimardanova, N.P. Korogod

Pavlodar State Pedagogical Institute, Pavlodar, Kazakhstan

**Abstract.** The article presents the factual material on element accumulation in the ash of tree leaves in the site of the industrial center of Kazakhstan Republic, Pavlodar city, their role as environmental indicators is discussed.

Для крупных городов характерно развитие многоотраслевой промышленности. Совокупное воздействие всех источников загрязнения прогнозируется с трудом. И только геохимическое картирование природных компонентов ландшафта городов позволяет оценить суммарный эффект влияния на окружающую среду различных производственных объектов. При этом важно отметить, что ведущую роль в характере распространения загрязняющих веществ при множественности источников загрязнения играет структура их размещения. Для каждой урбанизированной территории эта структура будет специфичной. Эта специфика обу-

словлена планом размещения предприятий на территории города, розой ветров и характером техногенной эмиссии веществ с прилегающих территорий. Техногенные ореолы рассеяния химических элементов, сформировавшиеся при порфириовидной и вкрапленной структуре размещения промышленности, различны [1, 2]. Специфика формирования геохимических аномалий на территории Казахстана определяется комплексом факторов, включающих радиогеохимические факторы воздействия предприятий угольной, металлургической и др. промышленных предприятий.

С целью установления региональной специфики эле-

**Таблица 1.** Сравнительная характеристика содержания токсичных элементов в золе листьев тополей разных регионов (мг/кг золь)

Элемент	Наши данные		Данные других исследований по литературным источникам		
	г. Павлодар, Казахстан	Фон	г. Томск, Россия	Европа-Азия*	Западный Кавказ**
Ba	225	128	142±29	358	320
Co	9,23	6,2	4,8±0,9	61	9
Cr	99,5	4,7	7,8±3,3	26,6	11
Sc	0,93	0,75	0,71±0,1	1,8	1
Sr	932	800	361±109	1 190	1 300

Примечание: \* – Москва, Санкт-Петербург, Петрозаводск, Самара, Архангельск, Красноярск, Барнаул, Казань, Владикавказ, Ереван, Донецк, Фрайберг, Вена, Париж и др.; \*\* – Новороссийск, Анапа, Геленджик, Сочи, Туапсе Лазаревское, Дивноморск и др. н.д. – нет данных.

ментного состава листьев Т.черного нами проведен сравнительный анализ с имеющимися литературными данными [3] и результатами анализа золы листьев тополя черного территории г. Томска, любезно предоставленными нам коллегами из ТПУ (Рихванов Л.П., Барановская Н.В.). Среднее содержание элементов в листьях тополя приведено в табл. 5.2.1.

Сравнительный анализ содержания химических элементов золы листы показало, что выбранный нами участок как фон (п. Железинка) имеет наименьшие показатели накопления.

Сравнение показателей из таблицы 1. позволяет утверждать, что для территории г. Павлодара характерна специфика биогеохимических показателей.

Так, более высокими концентрациями для территории г. Павлодара отличаются такие элементы, как хром и цинк (рис. 1.).

Необходимо отметить, что накопление хрома в листьях тополя черного на территории г.Павлодара превышает фоновые в 21 раз, данные других исследований от 3 до 7

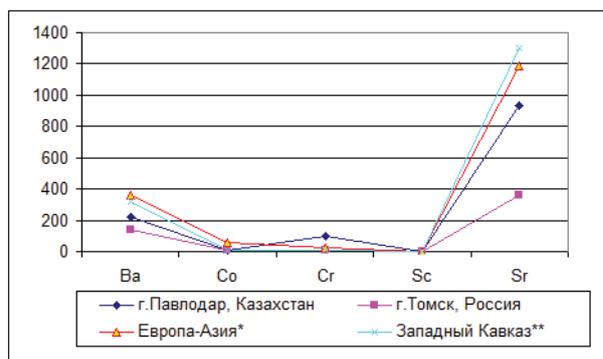


Рис. 1. Сравнительная характеристика содержания токсичных элементов в золе листьев тополя

раз. Накопление цинка выше фона в 7 раз, показатели из других регионов в 3 раза.

Элементный состав листьев тополя черного является индикаторным показателем, позволяющим установить степень и специфику техногенного воздействия.

### Литература

1. Ревич Б.А. Химические элементы в волосах человека как индикатор воздействия загрязнения производственной и окружающей среды // Гигиена и санитария, 1990. – №3. – С.55–59.
2. Саит Ю.Е. // Всесоюзная конференция по проблемам микроэлементов в биологии, 9-я: доклады. – Кишинев, 1981. – С.42–45.
3. Алексеев В.А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М.: Логос, 2000. – С.300.
4. Рихванов Л.П. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Сухих Ю.И. и др. – Томск, 2006. – 216 с.
5. Барановская Н.В. Элементный состав биологических материалов и его использование для выявления антропогенно-измененных территорий (на примере южной части Томской области): дис. ... канд.биол.наук / Н.В. Барановская. – Томск: ТПУ, 2003. – 172 с.

## ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Cr, Ba) В ЗОЛЕ ПОЛЫНИ ГОРЬКОЙ (*Artemisia Absinthium*)

К.Е. Балдина<sup>1</sup>, А.И. Беляновская<sup>1</sup>, Ж.Е. Абикеева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Павлодарский государственный педагогический институт, г. Павлодар

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

## ASSESSMENT OF HEAVY METALS (Cr, Ba) PRESENCE IN ASHES OF BITTER WORMWOOD (*Artemisia Absinthium*)

K.E. Baldina<sup>1</sup>, A.I. Belyanovskaya<sup>1</sup>, Zh.E. Abikeeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pavlodar State Pedagogical Institute, Pavlodar

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University

**Abstract.** Found heavy metals such as chromium and barium (Cr, Ba) in ash aerial parts of bitter wormwood (*Artemisia Absinthium*). Detected a high content of these elements in the ashes of wormwood in Pavlodar city and Pavlodar region.

В настоящее время загрязнение окружающей среды стало одной из самых основных проблем всего человечества. Уровень развития производительных сил, научно-техническая революция и связанные с ней социальные явления в острой форме поставили перед наукой вопрос об основных закономерностях взаимоотношений природы и общества. Современная индустриальная цивилизация оказывает на биосферу небывало негативное воздей-

ствие [12].

Тяжёлые металлы являются одними из самых распространённых загрязнителей территорий [14]. Поступая в почву, активно влияют на растительность и экосистему в целом [7]. Их токсичность обусловлена определенными физическими и химическими особенностями: электронной конфигурацией, электроотрицательностью, ионизацией, величиной окислительно-восстановительного потенциа-

**Таблица 1.** Уровень содержания хрома и бария в золе полыни горькой (*Artemisia absinthium*) населенных пунктов Павлодарской области, мг/кг

Населенный пункт	Cr	Ba
с. Богатырь	62	130
с. Заря	85	34
с. Иртышск	67	248
с. Кенжеколь	185	280
с. Косагаш	60	274
с. Красноармейка	87	291
с. Мичурино	43	140
с. Павлодарское	73	385
с. Харьковка	13	158
Среднее арифметическое ± стандартная ошибка	75±16	216±36

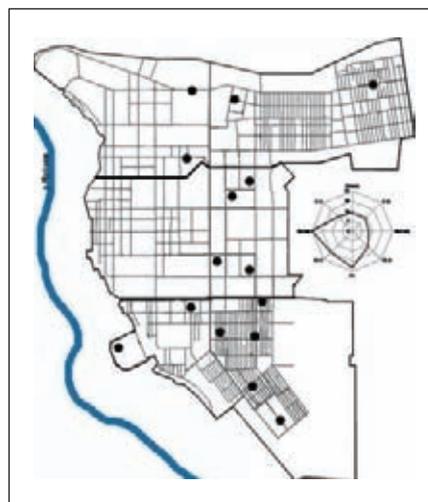
ла, сродством к отдельным химическим группам, а также способностью проникать через клеточную оболочку и образовывать прочные соединения на поверхности и внутри клетки [15].

Город – на данный момент времени является основной формой расселения, тем не менее, в нем человек сталкивается с множеством проблем, при этом наиболее актуальной из них является неблагоприятная экологическая обстановка [6, 13]. Поступление тяжелых металлов в окружающую среду городов существенно ухудшает экологическое состояние территорий, вызывает изменение химического состава всех природных компонентов урбоэкосистемы [10]. Многочисленные источники поступления загрязняющих веществ вызывают воздействие на биологические объекты г. Павлодара [1, 16].

Считается, что именно тяжелые металлы являются наиболее токсичными для живых организмов, в том числе и для растений [15]. Значительные накопления элементов в почве могут вызвать физиологические и морфологические изменения у растений [4]. Так, например, у многолетних растений загрязняющие вещества вызывают изменение размеров, формы, количества органов, направления роста побегов или изменение плодовитости. Подобные реакции обычно неспецифичны [5]. К тяжелым металлам относятся: мышьяк (As), ртуть (Hg), никель (Ni), хром (Cr), марганец (Mn), барий (Ba) и многие другие [2].

По степени опасности Cr принадлежит ко II группе и является токсичным металлом, тогда как Ba можно отнести к слабotoксичным элементам III группы [12].

Хром (Cr) – в периодической системе расположен в 4-й группе в VI периоде [8], атомная масса 52, твердый блестящий металл, плавящийся при 1890 °C [11]. Изучению содержания хрома в растениях стало уделяться большое внимание после сравнительно недавнего открытия его участия в метаболизме глюкозы и холестерина, свидетельствующего о важности этого элемента для жизнедеятельности человека и животных [9]. В почвах большая часть хрома присутствует в виде Cr<sup>3+</sup> [11]. Металл поглощается

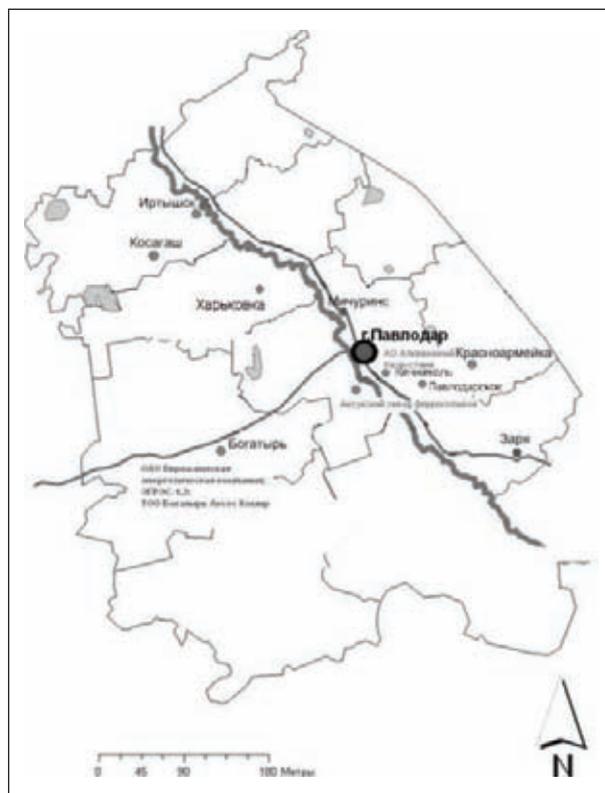


**Рис. 2.** Карта отбора проб надземной части полыни горькой (*Artemisia Absinthium*) на территории г. Павлодара

корневыми системами в виде анионных комплексов, которые выявлены в тканях растений и соке ксилемы [3].

Симптомы токсичности хрома проявляются в увядании надземной части и повреждении корневой системы растений. Типичным признаком токсикоза является также хлороз молодых листьев. Содержание в растительном материале обычно составляют 0,02–0,20 мг/кг сухой массы [9].

Барий (Ba) – атомная масса 137,3. Встречается в природе в виде барита BaSO<sub>4</sub>, витерита BaCO<sub>3</sub>. Барий очень



**Рис. 1.** Карта отбора проб надземной части полыни горькой (*Artemisia Absinthium*) на территории Павлодарской области

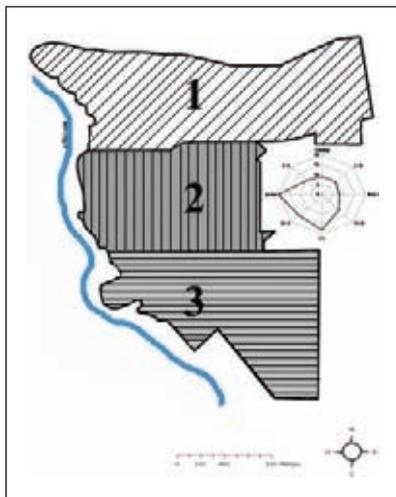


Рис. 3. Карта территории г. Павлодара, условно разбитая на 1 – северный, 2 – центральный, 3 – южный участки

активен, быстро окисляется на воздухе, энергично взаимодействует с водой. В почвах барий легко мобилизуется в различных условиях, поэтому его концентрации в почвенных растворах обнаруживают значительные вариации. В почве возможно проявление антагонистического взаимодействия бария с кальцием (Ca), магнием (Mg) и стронцием (Sr) [11]. Растения могут довольно легко поглощать барий из кислых почв. Барий обычно присутствует в растениях, он, по-видимому, не является для них жизненно необходимым элементом. Содержания бария составляют 1–198 мг/кг сухой массы [9].

Объектом исследования является полынь горькая (*Artemisia absinthium*), относится к семейству сложноцветные или астровые (*Asteracea*) и широко распространена на территории г. Павлодара и Павлодарской области.

**Цель исследования:** определить уровень содержания Cr и Ba в золе надземной части полыни горькой (*Artemisia Absinthium*).

При отборе проб полыни горькой (*Artemisia Absinthium*) использовалась стандартная методика, рекомендованная МАГАТЭ (1989), апробированная и показавшая хорошую результативность. Пробоподготовка проводилась на кафедре геологии и геохимии Томского политехнического университета, аналитик – Судыко А.Ф.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием стандартных программ Microsoft Word, MS Excel XP и STATISTICA 6.0 (StatSoft, USA).

Образцы отбирались из 9 населенных пунктов Павлодарской области: села Богатырь, Заря, Иртышск, Кенжеколь, Косагаш, Красноармейка, Мичурино, Павлодарское и Харьковка, (рис. 1).

### Литература

1. Ажаев Г.С. Оценка экологического состояния г. Павлодара по данным геохимического изучения жидких и пылевых атмосферных выпадений: диссертация... кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.36. – Павлодар, 2007. – 111 с.

Таблица 2. Уровень содержания хрома и бария и стандартная ошибка в золе листьев полыни горькой (*Artemisia Absinthium*) на разных участках г. Павлодар, мг/кг

Участок города	Cr	Ba
Северный	208±50	330±87
Центральный	339±81	393±47
Южный	331±49	451±100

Максимальное содержание Cr наблюдается в с. Кенжеколь (185 мг/кг), что в 14 раз меньше, чем в с. Харьковка (13 мг/кг).

Максимальное содержание Ba отмечено в с. Павлодарское (385 мг/кг) и это в 11 раз меньше, чем в с. Заря (34 мг/кг). Возможно, это свидетельствует о том, что с. Павлодарское расположено вблизи промышленных предприятий г. Павлодара.

В среднем в селах уровень содержания Cr (75±16 мг/кг) значительно меньше, чем Ba (216±36 мг/кг), примерно в 3 раза.

Так же для сравнения были взяты данные 15 точек отбора в городе, (рис. 2).

Город Павлодар был условно разбит на три участка: северный – 4 пробы, центральный – 4 проб и южный – 7 проб, (рис. 3).

Из таблицы (табл. 2) следует, что максимальное содержание Cr (339±81 мг/кг) отмечается в центральном участке города, тогда как в северном (208±50 мг/кг) в 1,6 раз меньше.

Установлено, что максимальное содержание Ba определено в южном участке (451±100 мг/кг) и это в 1,3 раза меньше, чем в северном – (330±87 мг/кг).

Таким образом, по результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Исследование показало, что полынь горькая (*Artemisia Absinthium*) способна накапливать такие тяжелые металлы как Cr и Ba, так как г. Павлодар является крупным промышленным центром Казахстана и основными источниками выбросов являются:
  - выбросы городов Аксу, Экибастуз
  - выбросы ТЭЦ и промышленных предприятий г. Павлодар
  - выбросы авто и мототранспорта [7].
2. Максимальное содержание Cr выявлено в центральном участке города (339±81 мг/кг), а Ba в южном – (451±100 мг/кг).
3. Так же можно предположить, что накопление тяжелых металлов может быть и у других растений. В связи с этим актуален вопрос о контроле качества природной среды г. Павлодара и Павлодарской области.

2. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в агроландшафте / Ю.В. Алексеев; Рос. акад. с.-х. наук, Агрофиз. науч.-исслед. ин т. – Санкт-Петербург: [АФИ], 2008. – 215 с.
3. Бессонова В.П., Иванченко А.Е. Накопление хрома в расте-

- ния и его токсичность // Вопросы биоиндикации и экологии. – М.: ЗНУ, 2011. – Вып. 16. – №2. – С. 35–52.
4. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1976. – 247 с.
  5. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учебное пособие для студентов вузов. / Под ред. Мелеховой О.П., Егоровой Е.И. – М.: Академия, 2007. – 288 с.
  6. Гельдымамедова Э.А. Тяжелые металлы в почвах и овощных культурах г. Павлодара Республики Казахстан: диссертация кандидата биологических наук: 03.00.16. – Павлодар, 2007. – 141 с.
  7. Геоэкология Павлодарской области: Учебное пособие. / Под ред. Царегородцевой А.Г. – Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2003. – 72 с.
  8. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. – М.: Недра, 1996. – Т.4. – 408 с.
  9. Кабата А.-Пендиас, Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М: Мир, 1989. – 440 с.
  10. Корогод Н.П. Оценка качества урбозокосистемы в условиях г. Павлодара по данным элементного состава волос детей // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. – Томск, 2010. – 23 с.
  11. Овчаренко М.М. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение. // Химия в сельском хозяйстве. – Москва, 1997. – 290 с.
  12. Панин М.С. Химическая экология: Учебник для вузов. – Семипалатинск, 2002. – 852 с.
  13. Рахимова Н.Р., Жгунова М.Н. Создание экологически благоприятной городской среды посредством использования элементов экологического каркаса // Материалы III международной научно-практической конференции «Урбозокосистемы: проблемы и перспективы развития». – Ишим, 2008. – С.101–104.
  14. Снитыко Л.В. О накоплении тяжелых металлов доминирующими видами растительности // Известия Челяб. науч. центра УрО РАН. – Миасс, Россия, 1999. – Вып.1(3). – С.161–170.
  15. Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам [отв. ред. Н.Н. Немова]; Институт биологии КарНЦ РАН. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 172 с.
  16. Шаймарданова Б.Х. Оценка качества урбанизированных территорий (на примере г. Павлодара) и прогнозирование экологической безопасности среды обитания // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. – Алматы, 2010. – 42 с.

## МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛЬНОГО ОСТАТКА ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

М.А. Белякина

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

### MINERAL-GEOCHEMICAL FEATURES OF HUMAN BODY ASH RESIDUE

M.A. Belyakina

Tomsk Polytechnic University, Russia

**Abstract.** The article presents the data on the research in mineralogy of human body ash residue. The initial results on basic structural elements in ash revealed by means of electron microscopy are given.

Под зольным остатком организма человека понимается крематорный материал, то есть зольный остаток организма человека (ЗООЧ) [1, 2]. Изучение данного материала дает много информации – от элементного и минерального состава человеческого организма до степени загрязнения окружающей среды [1, 2, 3].

Нами исследован ЗООЧ 5 городов: Новокузнецка, Новосибирска, Санкт-Петербурга, Ростова-на-Дону и Екатеринбурга. Всего было проанализировано около 100 проб. Для анализа использовались следующие виды анализа: инструментальный нейтронно-активационный (ИНАА), эмиссионный спектральный, электронный микроскоп «Hitachi» и рентгеновская дифрактометрия.

Каждый город имеет свои геохимические особенности, выраженные в повышенном содержании некоторых элементов. Для Новосибирска это такие элементы, как: Au, Sn, Cr, Ba, Co, Fe, Sb, La, Sc, Eu, Ta, Rb. Для Новокузнецка: Zn, Nd, Sr. Для Санкт-Петербурга: Tb, Ce, Sm, Sb, Ag, Rb, Zn, Fe, Co, Cs, Br, Ba U. Для Ростова-на-Дону: Th, Ta, Eu, La, Yb, Hf, Rb, Ag, Cs, Sb, Ba, Lu, U, Sc, Cr, Zn. Для Екатерин-

бурга: Br, Sr, Rb, Hf, Ba, Th, U, Ag, Sc, Cr, Sb, La.

Очевидно, что накопление ряда элементов в ЗООЧ является следствием влияния окружающей среды, в которой проживает человек. Так, высокое содержание такого элемента как Au в ЗООЧ г. Новосибирска объясняется действием Новосибирского аффинажного завода, а присутствие олова – работой Новосибирского оловянного ком-

**Таблица 1.** Статистика содержания матричных элементов в зольном остатке организма человека

Элемент	Среднее с ошибкой (%)
C	13,6±9,06
O	40,27±2,81
Na	4,41±0,84
Mg	1,34±0,54
P	10,29±2,31
K	1,89±0,65
Ca	26,79±7,08



Рис. 1. Золото в зольном остатке организма человека г. Новосибирска под электронным микроскопом

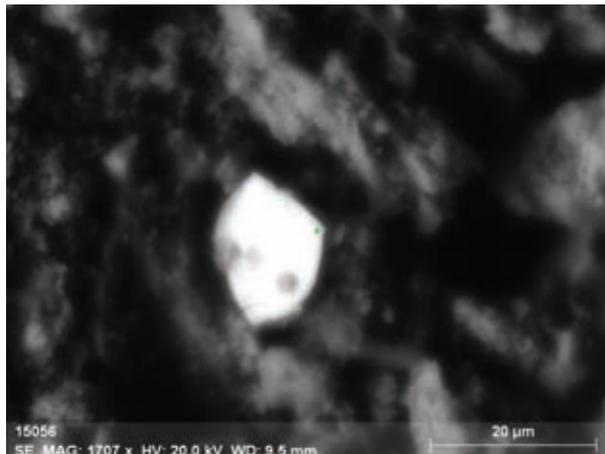


Рис. 2. Ниобий в зольном остатке организма человека г. Санкт-Петербурга под электронным микроскопом

бината (НОК).

Кроме специфических элементов, которые встречаются в организме человека в разных количествах, присутствуют и так называемые матричные элементы, которые составляют основу ЗООЧ и встречаются в нем в относительно одинаковом количестве. К таким элементам относятся: С, О, Na, Mg, P, K, Ca. На основе данных, полученных с помощью электронного микроскопа была составлена таблица содержания матричных элементов в ЗООЧ (табл. 1).

Кроме того, с помощью электронного микроскопа были

получены фотографии ЗООЧ г. Санкт-Петербурга и г. Новосибирска. В ЗООЧ г. Новосибирска была найдена частица, содержащая 41 % Au (рис. 1).

Также в ЗООЧ г. Санкт-Петербурга были найдены частицы, состоящие из 35 % из Nb и на 1,23 % из Ti (рис. 2).

Для того, чтобы определить минеральный состав золы, ЗООЧ разных городов был проанализирован на дифрактометре. Анализ показал, что минеральную основу ЗООЧ составляет минерал гидроксилпатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ .

#### Литература

1. Барановская Н.В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно – антропогенных экосистем: авторефер. дис. ... д.б.н. / Барановская Наталья Владимировна. – Томск, ТГУ, 2011. – 47 с.
2. 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.
3. 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. Судько, 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, 2008. – Т.2. – С.26–36.

## ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Zn, Br) В ЗОЛЕ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ПОЛЫНИ ГОРЬКОЙ (*Artemisia absinthium*)

А.И. Беляновская<sup>1</sup>, К.Е. Балдина<sup>1</sup>, Ж.Е. Абикеева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Павлодарский государственный педагогический институт, г. Павлодар

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

## ASSESSMENT OF HEAVY METALS (Zn, Br) PRESENCE IN ASHES OF BITTER WORMWOOD (*Artemisia Absinthium*) OVERGROUND PARTS

A.I. Belyanovskaya<sup>1</sup>, K.E. Baldina<sup>1</sup>, Zh.E. Abikeeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pavlodar State Pedagogical Institute, Pavlodar

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University

**Abstract.** Ranging the territory of Pavlodar and the Pavlodar region according to the average presence of heavy metals (Cr, Ba) in ashes of bitter wormwood leaves (*Artemisia Absinthium*) revealed that level of impurity of Pavlodar city exceeds indicators within the region.

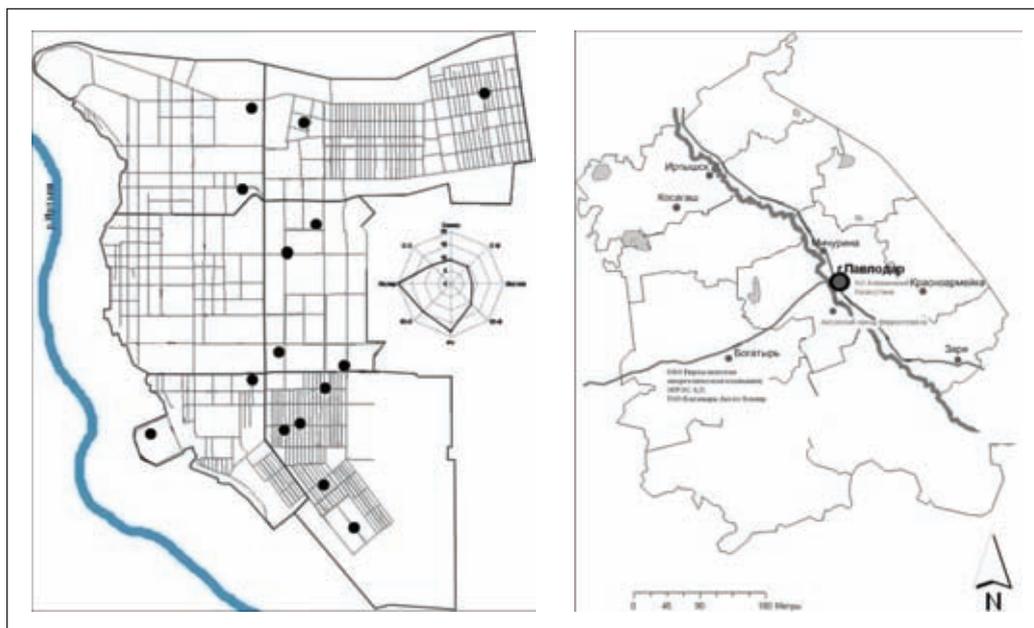


Рис. 1. Карты отбора проб надземной части Полыни горькой (*Artemisia absinthium*) на территории г. Павлодар (слева), Павлодарская область (справа)

Геохимическое преобразование природы человеческой деятельностью, постоянно усиливающееся в ходе научно-технической революции привело к появлению центральной проблемы современной экологической ситуации – проблемы загрязнения окружающей среды. Накопление химических элементов и их поступление в объекты окружающей среды являются результатом производственной и сельскохозяйственной деятельности человека [12].

В последние несколько лет научный интерес к изучению и оценке химических элементов как загрязняющих веществ значительно возрос. Подавляющее число работ по всему комплексу проблем, связанных с тяжелыми металлами, в том числе, с кадмием и цинком, проводится с сельскохозяйственными культурами [10].

Известно, что тяжелые металлы могут негативно влиять на рост растений, а так же их водный и минеральный обмен. Однако, некоторые металлы, такие как медь, цинк, молибден незаменимы для биохимических процессов на уровне деления клетки. Они могут оказывать положительное и отрицательное влияние на процессы, происходящие в организме растений при внесении в высоких концентрациях [8].

**Цинк** – Zn элемент II побочной подгруппы периодической системы Д.И. Менделеева [6, 3]. При избыточном содержании этого микроэлемента в почве у растений наблюдается обесцвечивание и отмирание тканей листа, пожелтение молодых листьев, отмирание верхушечных почек, окрашивание жилок в красный или черный цвет, первые признаки проявляются на молодых растениях [14]. У растений цинк – компонент карбоангидразы щелочной фосфатазы, алкогольдегидрогеназы, играет роль в метаболизме ДНК и РНК, синтезе белка и клеточном движении [1].

**Бром** – Br элемент 17-й группы периодической табли-

цы химических элементов (по устаревшей классификации – элемент главной подгруппы VII группы), четвертого периода, с атомным номером 35 [3]. Соединения брома всегда есть в растениях (в среднем 0,0007 % по массе), но в разных частях растения содержание брома неодинаково: в зеленых частях его значительно больше, чем в корнях. Многие растения концентрируют бром, рассеянный в почве, природных водах и атмосфере [2]. Доказательств токсичности брома (правильнее, токсичности его высоких концентраций) накоплено много (галоген включен в группу химических элементов второго класса опасности). Но все они относятся не к фоновым природным объектам, а к техногенно-загрязненным, главным образом к атмосферному воздуху вследствие большой летучести многих бромсодержащих соединений [4].

**Цель данной работы** – оценка содержания цинка и брома Zn, Br в золе надземной части Полыни горькой (*Artemisia absinthium*) г. Павлодара и Павлодарской области.

При отборе проб полыни использовалась стандартная методика, рекомендованная МАГАТЭ (1989), апробированная и показавшая хорошую результативность. Пробоподготовка проводилась на кафедре геологии и геохимии Томского политехнического университета, аналитик – Судыко А.Ф.

Всего было отобрана 31 проба наземной части травянистого растения Полынь горькая (*Artemisia absinthium*) по городу Павлодар (15) и по Павлодарской области (16), рисунок 1.

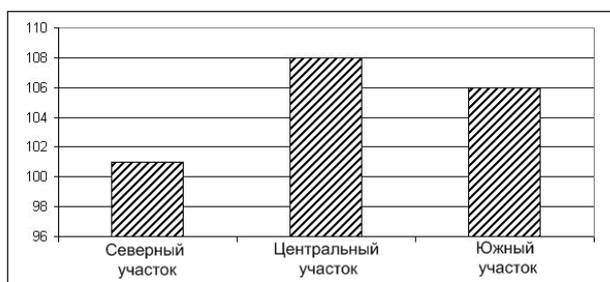
Объектом исследования является – Полынь горькая (*Artemisia absinthium*) – относится к семейству сложноцветные или астровые (*Asteracea*) растение высотой до 125 см, период цветения длится с июня по август, листья обладают характерным резким запахом. Распространена прак-

**Таблица 1.** Уровень содержания цинка и брома в золе в золе надземной части Полыни горькой (*Artemisia Absinthium*) населенных пунктов Павлодарской области, мг/кг

Населенный пункт	Zn	Br
с. Заря	217±5	73±12
с. Иртышск	332±146	253±35
с. Косагаш	374±76	149±51
с. Красноармейка	504±153	159±27
с. Мичурино	442±190	169±13
с. Богатырь	537±394	68±42
г. Павлодар	816±221	106±13

**Таблица 2.** Уровень содержания цинка и брома и стандартная ошибка в золе надземной части Полыни горькой (*Artemisia absinthium*) на разных участках г. Павлодар, мг/кг

Участок города	Zn	Br
Северный	418±120	101±5
Центральный	440±56	108±30
Южный	1255±425	106±20



**Рис. 3.** Содержание брома Br в золе надземной части Полыни горькой (*Artemisia absinthium*) на различных участках г. Павлодар

тически повсеместно, установлено, что полынь является аккумулятором цинка (Zn), и может быть использована в качестве индикатора загрязненности экосистем [13], как представитель семейства Астровые (*Asteraceae*) способна к повышенному накоплению тяжелых металлов [11].

### Литература

1. Алехина Н.Д., Балнокин, Ю.В. Гавриленко В.Ф. и др. Физиология растений: Учебник для студ. Вузов; Под ред. И.П. Ермакова. – Издательский центр «Академия», 2005. – 640 с.
2. Болгова И.В. Таблица Менделеева в живых организмах. Бром [Текст]: [о роли брома в живых организмах] / И.В. Болгова, И.А. Шапошникова, Р.А. Фандо // Биология. – (Приложение к газете «Первое сентября»), 2008. – №13.
3. Глинка Н.Л. Общая химия: Учебная пособие для вузов / Под ред. А.И. Ермакова. – М.: Интеграл-Пресс, изд. 30-е, исправленное, 2004. – С.499–503.
4. Ильин В.Б. Геохимическая ситуация на территории обь-

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием стандартных программ MS Excel XP и STATISTICA 6.0 (StatSoft, USA).

Результаты проведенных исследований на территории Павлодарской области представлены в таблице 1.

По данным Ковальского [5, 6] средний уровень цинка в наземных растениях составляет 20–60 мг/кг, и по сравнению с этими данными, уровень содержания цинка в золе Полыни Горькой (*Artemisia Absinthium*) превышает в г. Павлодаре в 20 раз, а на всей территории Павлодарской области в 60 раз, что связано с тем, что в центральной части Павлодарской области сформировался Павлодар-Экибастузский территориально-промышленный комплекс, ядро которого составляют каскад тепловых электростанций (60% установленной мощности республики), угольные разрезы, алюминиевый, ферросплавный, нефтеперерабатывающий заводы, которые являются основными загрязнителями окружающей среды [7, 15].

Город Павлодар был условно разбит на три участка: северный (3 пробы), центральный (5 проб) и южный (7 проб), рисунок 3.

Полученные данные позволяют выделить южный участок города, на территории которого отмечено высокое содержание цинка (1255±425 мг/кг), таблица 2.

Максимальное содержание брома наблюдается в центральном участке города (108±30 мг/кг), рисунок 4.

Таким образом, по результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. На территории Павлодарской области большое количество цинка выявлено в золе Полыни Горькой (*Artemisia Absinthium*), произрастающей на территории с. Богатырь (537±394 мг/кг). Это может быть связано с близким расположением угольных разрезов «Северный», «Восточный», «Богатырь» [11, 9].
2. Уровень содержания цинка в золе полыни горькой (*Artemisia Absinthium*) на территории г. Павлодара составляет 816±221 мг/кг, а что превышает средний показатель содержания цинка в золе полыни, произрастающей на территории Павлодарской области в 2 раза, это связано с тем, что г. Павлодар является крупным промышленным городом.
3. Высокий уровень брома (108±30 мг/кг) выявлен в золе полыни горькой (*Artemisia Absinthium*) центрального участка г. Павлодара, а цинка (1255±425 мг/кг) южного участка города.

иртышского междуречья © 2007 г. Институт Почвоведения и Агрехимии. – Новосибирск, 27.02.2007 г.

5. Ковалевский В.В. Геохимическая среда, микроэлементы, реакция организмов // Тр. Биогеохимической лаборатории. – М.: Наука, 1991. – Т.22. – С.5–23.
6. Ковалевский В.В. Геохимическая экология. – М.: Наука, 1974. – 286 с.
7. Корогод Н.П. Оценка качества урбоэкосистемы в условиях г. Павлодара по данным элементного состава волос детей // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. – Томск, 2010. – 23 с.

8. Нюкалова М.А. Влияние цинка на физиологические показатели молодых растений (*Helianthus Annuus*), Сибирский федеральный университет.
9. Панин М.С., Гельдымамедова Э.А., Ажаев Г.С. Эколого-геохимическая характеристика атмосферных осадков г. Павлодара. // Доклады II Международной научно-практической конференции «Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде». – Семипалатинск, Казахстан, 2002. – Т.2. – С.142–154.
10. Плеханова В.А. Характер сопряжения накоплений цинка и кадмия растениями в условиях фитоценоза и агрокультуры // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. – Уфа 2007. – 22 с.
11. Позняк С.С. Содержание тяжелых металлов в растительности агрофитоценозов в зоне воздействия крупных промышленных центров. – Экологический вестник, 2010. – №3.
12. Сает Ю.Е. Раевич А.П. Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
13. Самкаева Л.Т., Ревин В.В. Рыбин Ю.И., Кулагин А.Н. и др. Изучение аккумуляции тяжелых металлов растениями. – [Текст] Биотехнология, 2001. – №1. – С.54–59. – Библиогр.: С.58–59.
14. Чумаков Л.С. Головчиц В.А. Биологический мониторинг окружающей среды. – Минск, 2002.
15. Шаймарданова Б.Х. Оценка качества урбанизированных территорий (на примере г. Павлодара) и прогнозирование экологической безопасности среды обитания // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. – Алматы, 2010. – 42 с.

## ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СРЕДУ ИХ ОБИТАНИЯ

В.В. Боев

Тюменский Государственный Университет, Тюмень, Россия, v.-3@mail.ru

## FORMATION OF MICROELEMENT STRUCTURE OF PLANTS DEPENDING ON EXTENT OF ANTHROPOGENOUS IMPACT ON THE ENVIRONMENT OF THEIR DWELLING

V.V. Boev

Tyumen State University, Tyumen, Russia, v.-3@mail.ru

**Abstract.** On the example of 4 cities – Novosibirsk, Tyumen, the Uhlana to Uda, Semey (Kazakhstan) influence of the anthropogenous influence which is expressing in pollution of environment on microelement structure of vegetable cultures is considered. The major factors promoting accumulation of heavy metals in vegetable cultures in the urbanized territory are revealed.

В настоящее время в связи с возрастанием антропогенной нагрузки на окружающую среду увеличивается содержание тяжелых металлов в почвах, что приводит к возрастанию их концентрации в растениях. Многочисленные проведенные исследования свидетельствуют о фактах значительного увеличения концентрации тяжелых металлов в растительности в результате техногенного загрязнения.

Выращивание сельскохозяйственных культур в зоне техногенного влияния имеет значительный практический интерес для специалистов в области почвоведения, агрохимии, экологии и врачей-гигиенистов. Одним из примеров территорий со значительным техногенным давлением являются территории городов. Характерная особенность городов России и ближнего зарубежья – наличие многочисленных огородных, дачных и приусадебных участков, где местное население выращивает овощные культуры, главным образом для личного потребления в пищу. В связи с этим актуальна проблема качества овощей, выращиваемых на этой территории. Как показали проведенные в ФРГ исследования, накопление тяжелых металлов в организме человека происходит, прежде всего, за счет пищи [12], а среди пищевых продуктов в наибольшей мере загрязнены тяжелыми металлами продукты растительного происхождения.

Цель работы – выявление закономерностей загрязнения тяжелыми металлами овощной продукции, выращиваемой на дачных и приусадебных участках городов с различной структурой промышленности и размерами территории. В качестве объектов исследования выбраны три города в РФ – Тюмень, Улан Удэ и Новосибирск, а также один город РК – Семей.

Прежде чем перейти к описанию экологической ситуации в этих городах, рассмотрим закономерности формирования микроэлементного состава растений на урбанизированных территориях. Следует отметить, что растения при избытке тяжелых металлов ведут себя по-разному, но все они способны в большей или меньшей степени защищаться от него (Ильин, 1991). Способность корней растений удерживать тяжелые металлы подтверждена многочисленными работами [2, 6, 10]. В результате органы запаса ассимилятов сохраняют санитарно-гигиеническую чистоту. Эрнст выделил у растений два основных пути приспособления к высокой концентрации металлов [9]:

1. Защитный механизм с невыясненной природой.
2. Инактивация поступивших в растение тяжелых металлов, их вывод в менее поражаемые компартменты, изменение метаболических путей.

По мнению В.Б. Ильина [5] в корневой системе растений нет специальных морфологических структур для задержа-

ния избытка тяжелых металлов, и отсутствуют специальные химические реакции. Способность корневой системы задерживать избыточные ионы обусловлена совокупным действием морфологических структур и химических реакций неспецифической природы, к которым относятся поясок Каспари, обменная емкость корней, многочисленные органические соединения, дающие с тяжелыми металлами малоподвижные соединения, вакуолярные депо. Они соответственно способствуют или механической задержке тяжелых металлов, или их адсорбции на стенках клеток, или уменьшению их подвижности, или изоляции.

Другой механизм защиты растений от избытка тяжелых металлов связан с более поздним наступлением репродуктивной фазы [8].

Накопление тяжелых металлов растениями значительно зависит от уровня загрязнения почв. Однако поступление тяжелых металлов из загрязненной почвы в растения, прежде всего, зависит от концентрации их подвижных форм в почвах, что связано с химическим составом техногенных выбросов и защитными возможностями почвы.

Вопросы буферности почв по отношению к тяжелым металлам рассмотрены В.Б. Ильиным, которым предложена шкала буферности почв [3].

Различные растения отличаются по уровню устойчивости к тяжелым металлам, например, однодольные высшие растения более толерантны к тяжелым металлам по сравнению с двудольными [11].

Город Семей находится на северо-востоке РК. Его площадь – 20 000 га, население – 331,5 тыс. человек. Город располагается в зоне сухой степи с континентальным климатом на волнисто-увалистой равнине, разделенной р Иртыш. В правобережной части сформировались темно-каштановые; в левобережной – светло-каштановые, а на участках города, прилегающих к р. Иртыш – пойменные луговые почвы. Промышленность представлена предприятиями легкой и пищевой отраслей, а также строительной индустрии. Крупные источники газо-пылевых выбросов, содержащих тяжелые металлы – цементный завод, силикатный завод, две ТЭЦ, работающих на угле. Значительный источник загрязнения – автомобильный транспорт. Проведенные исследования позволили выявить на территории города пять почвенных техногенных аномалий, отличающихся по составу металлов-загрязнителей. В связи с этим загрязнению тяжелыми металлами подверглись прилегающие к территориям западной промышленной зоны, где располагаются цементный и машиностроительный заводы, а также в зоне ТЭЦ-1 почвы дачных и огородных участков. В результате имело место увеличение содержания подвижных форм тяжелых металлов на этих территориях. Даже на наименее загрязненных из них доля мобильных форм достигала до 10% от валового содержания. Загрязнение почв определялось составом атмосферных выбросов ближайших предприятий-загрязнителей и транспорта.

В результате исследований было выяснено [1], что приоритетными загрязнителями овощных культур г. Семей являются Cd, Pb, Cr, Zn, Cu. В зоне цементного завода было отмечено повышенное накопление в овощных культурах таллия, которое не достигало ПДК. Даже в пределах по-

чвенных техногенных аномалий загрязненными оказались 15–25% овощных культур. Это связано со значительной мозаичностью загрязнения почв и их буферной способностью. Для почв г. Семей характерна средняя и повышенная буферная способность по шкале В.Б. Ильина.

Максимальное накопления тяжелых металлов выявлено у клубней и корнеплодов, произрастающих в пределах зоны влияния атмосферных выбросов цементного завода, в меньшей мере загрязнение проявляется в районе ТЭЦ-1 и западной группы предприятий. Содержания Pb, Cd, Zn, Cu в некоторых образцах овощных культур (главным образом в корнеплодах) в этих районах превышает ДОК. В других районах концентрации тяжелых металлов в овощах лишь незначительно превышают фоновый уровень или находятся в его пределах.

Улан Удэ – город Восточной Сибири, столица Бурятии, население – 411 тыс. чел. Расположен в зоне континентального климата. Через город протекает р. Селенга и Уда. Отличается разнообразием почвенного покрова, что связано с пестротой почвообразующих пород. Расположение Улан Удэ на разнообразных элементах рельефа, пестрых по составу почвообразующих породах, а также комплекс зональных и интразональных факторов обусловили формирование большого разнообразия почв на этой территории: дерново-лесных, дерново-карбонатных, песчаных, каштановых, лугово-каштановых, аллювиальных болотных, лугово-болотных, луговых, дерновых почв и гидроморфных солончаков. В склоновой части долины формируются автоморфные и полугидроморфные почвы, в пойменной – гидроморфные. Буферность почв по отношению к тяжелым металлам низкая или средняя. Город является крупным промышленным узлом, в котором располагаются многочисленные предприятия машиностроительной промышленности, а также строительной индустрии и пищевой промышленности: авиационный, локомотивный, стекольный заводы, завод Теплоприбор, завод железобетонных изделий и др. По данным [7], современным загрязнением охвачено 65% площади Улан Удэ концентрации свинца и хрома превышают фоновые значения. Наибольшее загрязнение почв отмечено в зоне действия предприятий, использующих цветные металлы. Валовое содержание тяжелых металлов в огородных почвах соответствует региональному фону, в то время, как содержание подвижных форм Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr было выше как фона, так и ПДК. Это объясняется высокими техногенными нагрузками и низкой буферностью почв. Корнеплоды, в частности картофель и свекла, накапливали значительно превышающее ДОК количество Cd и Cr. До 70% образцов свеклы и до 20% картофеля накапливали Cr в количествах, превышающих ДОК, что связано с высоким содержанием его подвижных форм в почвах. Содержание Pb не превышало ДОК, а Zn, Cu, Ni – соответствовали фону.

Новосибирск – крупнейший индустриальный центр Западной Сибири. Площадь 502 кв. км население 1,5 млн. чел. Новосибирск расположен в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины на Приобском плато, примыкающем к долине реки Обь, рядом с водохранилищем, образованным плотиной Новосибирской ГЭС, на пересечении лесной

и лесостепной природных зон. Левобережная часть города имеет плоский рельеф, правобережная характеризуется множеством балок, грив и оврагов, поскольку здесь начинается переход к горному рельефу Салаирского кряжа. К городу примыкают Заельцовский и Кудряшовский боры, Новосибирское водохранилище.

В правобережной части преобладают легкосуглинистые и супесчаные почвы, а тяжелые почвы встречаются редко. В левобережье преобладают суглинистые почвы. Широко распространены почвы с  $pH > 7$ , что связано с выпадением щелочных атмосферных выбросов.

Новосибирск – крупный промышленный центр с большим количеством предприятий металлургической, металлообрабатывающей промышленности, объектов теплоснабжения, что способствует загрязнению почв и овощных культур тяжелыми металлами. В почвах правобережья выявлено антропогенное накопление до 24 химических элементов, однако наиболее распространены Sn, Bi, которые продуцирует оловокомбинат. Загрязняют почвы этой части города ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3, способствуя накоплению Zn, Cu, As накапливается на территории, прилегающей к оловокомбинату. Загрязнение почв отличается мозаичностью. Установлено, что в отдельных точках в районе оловокомбината содержание Zn, Cu превышает ПДК. При этом некоторые почвы сохраняют фоновые количества тяжелых металлов. На территории Правобережья разнопрофильные промышленные предприятия имеются во всех районах. Загрязнение почв носит мозаичный характер. Однако наиболее часто содержание химических элементов в этой части города в основном загрязнены Cu, Pb, максимальное количество которых может превышать минимальное в 5 раз. Для овощных культур левобережья основные загрязнители – As, Cu, Ni, Zn, содержание которых не достигает гигиенического норматива. Однако во многих пробах овощей, прежде всего картофеля, концентрация Cd превышает ДОК. Наиболее загрязнен в левобережье район р. Тула, где в корнеплодах накапливаются Cd, Pb, а в свекле – Cr. В правобережье наиболее часто овощные культуры загрязнены Cd, Pb, Zn. Причем значительная часть проб картофеля и овощей в правобережье не загрязнена, а среди загрязненных культур преобладают корнеплоды [4].

В зоне выпадения атмосферных выбросов оловокомбината почвы загрязнены As, однако овощные культуры отличаются гигиенической чистотой. Это связано с малой подвижностью As в почвах.

Город Тюмень находится в лесостепной зоне с умеренным континентальным климатом. Исходными почвами в основном являются серые лесные и дерново-подзоли-

стые, небольшой массив составляют луговые почвы. Город пересекает река Тура.

Численность населения – 656,9 тыс. человек, площадь – 235 тыс. кв. км. Промышленную основу города составляют нефтеперерабатывающая, химическая и нефтехимическая промышленность – 59%. В частности, Антипинский нефтеперерабатывающий завод. В области нефтесервиса и машиностроения действуют Тюменский завод металлоконструкций, завод блочно-комплектных устройств, Сибнефтемаш, ГМС Нефтемаш, Сибкомплемонтажладка), Тюменский судостроительный завод; Сибкомплемонтаж, опытный завод «Электрон», Тюменский аккумуляторный завод, Тюменские авиадвигатели, Тюменский машиностроительный завод, завод «Нефтепромаш». Объекты теплоснабжения представлены ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2. Имеются предприятия деревообработки, промышленной химии (Тюменский завод пластмасс), лёгкой и пищевой промышленности.

Содержание всех изученных элементов в большинстве образцов почв значительно меньше ПДК и ОДК. Однако имеет место превышение ПДК по валовому содержанию Pb, Zn, Cu и Mn. Однако превышение санитарно-гигиенических нормативов имеет место лишь в некоторых образцах овощных культур, главным образом в свекле. Поскольку обследованные огородные участки находятся вне ореолов влияния источников атмосферных выбросов содержащих тяжелые металлы, повышенные содержания вышеуказанных элементов связаны, по-видимому, со свойствами почв, способствующих высокой подвижности тяжелых металлов.

Таким образом, выявлены следующие общие закономерности содержания тяжелых металлов в овощных культурах исследованных городов:

1. Загрязнение городских почв и соответственно растений во всех городах определяется спецификой источников загрязнения – профилем и мощностью предприятий, объектов теплоснабжения и транспорта.
2. Содержание тяжелых металлов в растениях определяется содержанием подвижных форм этих элементов в почве, близостью к источнику загрязнения, защитными возможностями почв и растений.
3. Загрязнение растений также как и почв во всех исследованных городах носит мозаичный характер.
4. Загрязнение только отдельных образцов овощных культур всех исследованных городов превышает гигиенические нормативы, а остальные овощные культуры пригодны для употребления в пищу.

## Литература

1. Боев В.А. Тяжелые металлы в почвах и овощных культурах г. Семипалатинска. Автореф. дисс. канд. биол. наук. – Новосибирск, 2000. – 24 с.
2. Ильин В.Б. Элементный химический состав растений. – Новосибирск, Наука, 1985.
3. Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам. // *Агрохимия*, 1995. – №10. – С.109–113.
4. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука, 1991.
5. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001.
6. Ратнер Е.И. Пути приспособления растений к условиям питания катионами в почве. // *Проблемы ботаники*. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. – Вып.1. – С.427–448.
7. Убугунов В.Л. Тяжелые металлы в садово-огородных по-

- чвах и растениях города Улан-Удэ. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004.
8. Austenfeld F.A. Zur Phytotoxizität von Nickel- und Kobaltsalzen in Hydrokultur bei *Phaseolus vulgaris* L. // Z. Pflanzenernähr. – Und Bodenkunde, 1979. – Bd.142. – H.6. – P.769–777.
  9. Ernst W. Physiological and biochemical aspects of metal tolerance // Effects of Air Pollutants on Plants. / Ed. T. Mansfield. – Cambridge: Cambr. Univ. Press, 1976. – P.115–133.
  10. John M.K. Mercury uptake from soil by various plant species. // Bull. Envir. Cont. Toxicol, 1972. – №8. – P.77–88.
  11. Kiekens L., Camerlynck R. Transfer characteristics for uptake of heavy metals by plants // Ibid., 1982. – P.255–261.
  12. Kowalewski H.H., Vetter H. Möglichkeiten zur Herabsetzung der Schwermetallbelastung in Futter und Nahrung // Landwirtschaftliche Forschung, Kongressband, 1982. – S.-H.39. – P.245–252.

## БИОМОНИТОРНАЯ РОЛЬ ЛИШАЙНИКОВ В НАКОПЛЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНОВ

Т.С. Большунова<sup>1,2</sup>, И.В. Подкозлин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ОАО «ТомскНИПИнефть»

<sup>2</sup>Томский Политехнический университет, Томск, Россия

<sup>3</sup>Владимирский государственный университет, Владимир, Россия

## BIOMONITOR ROLE OF LICHENS IN ACCUMULATION OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE TERRITORY OF THE OIL EXPLORATION AREAS

T.S. Bolshunova<sup>1,2</sup>, I.V. Podkozlin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>JSC "TomskNIPIneft", Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>3</sup>Vladimir State University, Vladimir, Russia

**Abstract.** The aim of this investigation is the estimation of the influence of oil exploration industry in Tomsk region on the atmosphere by means of the study of epiphytic lichens. Lichen samples were collected in August and September 2010–2011. areas distributed inside the oil-exploration districts of Tomsk region. In total 27 samples were collected. In these samples 54 chemical elements were detected by ICP-MS. Comparing the obtained results with the data of, Chita region, Portugal, Italy (Trieste), Germany (Black Forest) The authors have revealed excesses for Cr, Rb, Fe, Mn, Ba etc. two and more times.

В условиях развития современной промышленности значительные количества загрязняющих веществ, выбрасываемых стационарными и передвижными источниками, переносятся на огромные расстояния и, как следствие, оседают в геосферных оболочках. Выполнение инструментальных замеров содержаний загрязняющих веществ не способно дать полной картины состояния загрязнения природной среды в связи с ограниченным перечнем веществ, определяемых приборами, и высокой стоимостью проведения прямых измерений. В дополнение можно отметить, что большинство элементов присутствуют в окружающей среде, и в частности атмосфере, в низких (следовых) концентрациях и практически не принимаются во внимание при планировании стандартной процедуры мониторинга. Весьма развивающийся последние годы, особенно за рубежом, метод биомониторинга, может служить хорошим дополнением к традиционным видам мониторинга и, при дальнейшем развитии и стандартизации процедур его проведения, вполне может использоваться как самостоятельный надёжный метод анализа состояния природной среды.

В научной литературе термины «биоиндикатор» (организм, дающий количественную информацию о качестве окружающей среды) и «биомонитор» (организм, который даёт количественную информацию о качестве окружающей среды) используются отдельно, хотя некоторые организмы могут выполнять функцию и биоиндикаторов и биомонито-

ров одновременно [1]. В данной работе рассматривается применение эпифитных (произрастающих на стволах и ветвях деревьев) лишайников в качестве аккумулятивных биомониторов.

Лишайники представляют собой симбиоз микобионта и фотобионта. Эти организмы широко признаны хорошими биомониторами в связи со способностью накапливать элементы в концентрациях, превышающих их физиологические потребности и удерживать в талломе (теле) долгое время. Поскольку питание лишайников атмосферное, они получают вещества мокрых и сухих выпадений посредством захвата их всей поверхностью таллома. По элементным концентрациям в пробах лишайников можно косвенно судить о состоянии воздуха в исследуемом районе.

Наши исследования проходили в нефтедобывающих районах Томской области. Информация о состоянии природной среды по данным биомониторинга на данной территории скудна и недостаточна, кроме того, как отмечалось выше, исследования проводятся стандартными видами мониторинга с определением узкого перечня загрязняющих веществ в воздухе, тогда как представляется весьма интересным получить более обширную информацию о влиянии источников загрязнения атмосферы объектами нефтепромыслов, выявить перечень типичных элементов-загрязнителей в изучаемом районе.

Образцы лишайников-эпифитов были отобраны в ав-

**Таблица 1.** Средние содержания элементов (мг/кг) в лишайниках нефтедобывающего района Томской области, Читинской области, Германии, Италии, рекомендуемые концентрации (IAEA-336) и концентрации в стандартном образце (лишайник CRM 482)

Мг/кг	Na	Mg	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Zr	Cd
Томская область, нефтедобывающий район	323,34	606,3	1083	50,84	2,31	6,82	294,8	846,5	0,516	1,97	5,19	44,3	1,58	0,32	8,20	10,3	1,17	0,39
Читинская область	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	1	н.д.	н.д.	0,16	0,61	1,2	н.д.	0,35	0,31	н.д.	н.д.	0,14	н.д.
Португалия (IAEA-336)	320	н.д.	680	н.д.	1,47	1,06	63	430	0,29	н.д.	3,6	30,4	0,63	0,22	1,76	9,3	н.д.	0,117
Италия	66	888	356	н.д.	2,41	1,68	58,42	465	н.д.	1,38	4,99	36,9	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,33
Германия	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Лишайник CRM 482	н.д.	н.д.	1103	н.д.	н.д.	4,12	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	7,03	100,6	0,85	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,56
Мг/кг	Na	Mg	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Zr	Cd
Томская область, нефтедобывающий район	0,11	0,13	28,6	1,05	0,02	0,18	9,79	2,20	0,92	0,18	0,04	0,02	0,13	0,06	0,053	0,009	0,21	0,064
Читинская область	0,0042	0,15	н.д.	5	н.д.	0,011	н.д.	н.д.	3,2	0,49	0,036	0,074	0,37	н.д.	0,12	0,015	н.д.	0,085
Португалия (IAEA-336)	0,073	0,11	6,4	0,66	н.д.	0,2	4,9	1,28	0,6	0,106	0,023	0,014	н.д.	н.д.	0,037	н.д.	0,14	н.д.
Италия	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,093	3,4	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Германия	н.д.	н.д.	н.д.	0,433	н.д.	н.д.	н.д.	0,994	0,47	0,09	0,022	0,01	н.д.	0,04	0,037	0,005	н.д.	н.д.
Лишайник CRM 482	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,48	40,9	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.

густе-сентябре 2010–2011 года на территории основных нефтедобывающих районов Томской области. Образцы отбирались по случайной сетке, принимая во внимание как точки, находящиеся вблизи источников выбросов, так и на значительном удалении от них. Всего было получено 27 объединённых проб. Образцы отбирались в герметичные пластиковые пакеты на высоте 1,5–2,0 м. от поверхности земли, чтобы по возможности исключить загрязнение частицами почвы.

При проведении полевых работ отбирались эпифитные лишайники следующих видов: *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Evernia Mesomorpha* Nyl., *Stirt.*, *Usnea hirta*, *Parrique usnea* sp., *Bryoria Nadvornikiana* (Gyeln.) Brodo et D. Hawksw., *Bryoria fukcellata* (Fr.) Brodo et D. Hawksw., *Parmelia Sulcata* (Taylor), *Hypogymnia Vittala* (Ach.), *Melanohalea olivacea* (L.) O. Blanco et al., *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. Виды были определены сотрудником Томского государственного университета В.В. Коневова за что мы ей искренне благодарны

В лаборатории образцы проб лишайников были очищены при помощи пинцета от посторонних частиц (коры, хвои), высушены при комнатной температуре и измельчены. В связи с тем, что многие химические элементы в растениях находятся в низких концентрациях, для анализа был выбран современный чувствительный метод, дающий информацию о содержаниях элементов в низких диапазонах и способный одновременно анализировать большой перечень элементов – масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Аналитические исследования выполнялись на базе исследовательской лаборатории Федерального центра защиты здоровья животных, г. Владимир.

Пробоподготовка образцов к анализу осуществлялась в соответствии с методикой «Microwave digestion of dried plants» из сборника «Application Report Microwave Pressure Digestion Food, Pharma, Cosmetics» стр. 13.

Для проведения процедуры мокрого озоления 300 мг образца соединяли с 2 мл азотной кислоты и 3 мл перекиси водорода, далее раствор помещался в микроволновую систему «Berghof Products» (Германия) и нагревался. Каждая проба анализировалась на определение концентраций 54 химических элементов, в 2–3 повторностях. В результате получена хорошая сходимости результатов (в пределах 10 процентов).

Обработка результатов осуществлялась с помощью программного продукта Statistica 6, были проанализированы данные по концентрациям 54 элементов, при сравнении которых с использованием критерия Колмогорова-Смирнова были получены достоверные отличия ( $p < 0,01$ ).

По результатам исследования предварительно выявляется схема ряда накопления химических элементов в эпифитных лишайниках нефтедобывающего района Томской области:  $Ca > K > P > Si > Al > Fe > Mg > Na > Mn > Zn > Ba > Sr > Pb > Rb > Cr > Cu > V > Ce > Ni > As > Zr > La > Nd > Y > Li > Co > Cd > Se > Pr > Th > Gd > Hg > Sm > Mo > Cs > Dy > Sb > Nb > Bi > U > Er >$

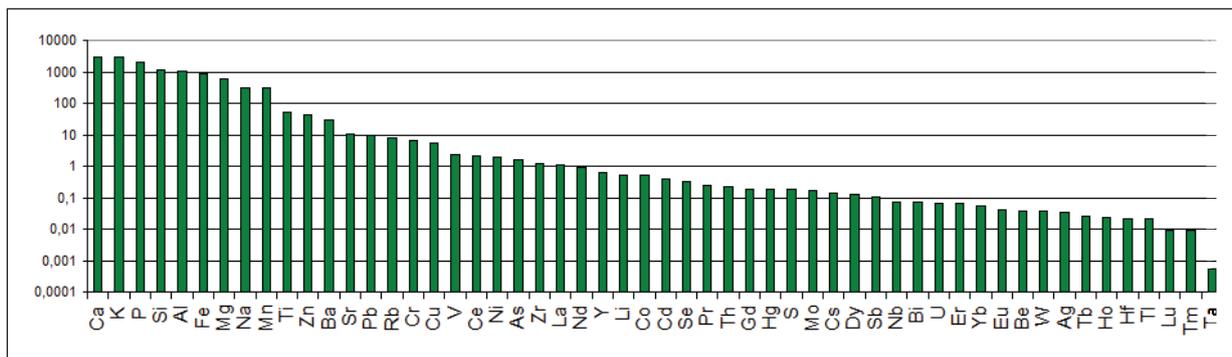


Рис. 1. Логарифм распределения химических элементов в лишайниках нефтедобывающего района, в убывающем порядке



Рис. 2. Кривые содержания химических элементов в лишайниках Томской области (нефтедобывающий район), Читинской области, Португалии, Италии, Германии, мг/кг, логарифмическая шкала

Yb > Eu > Be > W > Ag > Tb > Ho > Hf > Tl > Lu > Tm > Ta (Рис. 1).

Поскольку фоновые концентрации элементов в лишайниках, произрастающих в схожих климатических и природных условиях, мало подверженных антропогенному воздействию, не определены, для сравнения собственных результатов мы использовали литературные данные. Средние содержания элементов в лишайниках нефтедобывающего района Томской области, а также концентрации некоторых элементов в лишайниках Читинской области [2], Германии [3], Италии [5] представлены в табл. Также в таблице имеется информация по концентрациям элементов в рекомендуемом образце лишайников, отобранных в Португалии и подготовленных Международным агентством по атомной энергии (IAEA), г. Вена [4] и концентрации элементов в стандартном образце лишайника CRM 482 [1].

### Литература

1. Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений. Пер. с англ. – И.Н. Михайловой (Институт экологии растений и животных, г. Екатеринбург). – М.: ГЕОС, 2005. – 457 с.
2. Вершинина С.Э., Вершинин К.Е., Кравченко О.Ю. и др. Элементный состав лишайников *P. Certaria Ach.* Из различных регионов России. // Химия растительного сырья, 2009. – №1. – С.141–146.
3. D. Aubert, G. Le Roux, M. Krachler, A. Cheburkin. Origin and fluxes of atmospheric REE entering an ombrotrophic peat bog in Black Forest (SW Germany): Evidence from snow, lichens and

На рис. 2 представлены кривые содержания элементов в различных регионах.

Результаты сравнения данных показывают превышение концентраций в пробах лишайников нефтедобывающего района таких элементов, как Cr, Mn, Fe, Ni, Rb, Sb, Ba, Th в 2 и более раза. Более высокие концентрации железа, марганца, скорее всего, обусловлены привнесением частиц почв, региональной особенностью которых являются повышенные содержания обозначенных элементов. Превышение никеля свидетельствует о влиянии сжигания нефти, газа и топлива на нефтепромыслах [1]. Содержания Sb, Ba, Th могут быть связаны с дальним переносом частиц [1], как с района Томск-Северской промышленной агломерации, так и с других областей. Связь рублидия с каким-либо видом производства не установлена, и требует дальнейшего изучения.

- mosses // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2006. – №70. – P.2815–2826.
4. Reference material IAEA-336. trace and minor elements in lichen // International Atomic Energy Agency, A-1400 Vienna, Austria, June 1999.
5. M. Tretiach, P. Adamo, R. Bargagli, L. Baruffo, L. Carletti, P. Crisafulli, S. Giordano, P. Modenesi, S. Orlando, E. Pittao. Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. Part I: Influence of exposure on sample vitality // *Environmental Pollution*, 2007. – №146. – P.380–391.

## ПРОБЛЕМА НАКОПЛЕНИЯ МЫШЬЯКА В ЖИВЫХ ОРГАНИЗМАХ ВО ВЬЕТНАМЕ

До Тхи Зунг, А.А. Мех, Нгуен Ван Зунг, Нгуен Чунг Киен  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

### THE PROBLEM OF ARSENIC ACCUMULATION IN LIVING BODIES IN VIETNAM

Do Thi Zung, A.A. Mech, Nguen Van Zung, Nguen Chung Kien  
Tomsk Polytechnic University, Russia

**Abstract.** *The article deals with the problem of arsenic accumulation in different natural environments of Vietnam. The data on arsenic content in the river fish and human hair are presented.*

Мышьяк относят к условно эссенциальным, иммунотоксичным элементам. Известно, что мышьяк взаимодействует с тиоловыми группами белков, цистеином, глутатионом, липоевой кислотой. Мышьяк оказывает влияние на окислительные процессы в митохондриях и принимает участие во многих других важных биохимических процессах.

Токсическая доза для человека: 5–50 мг. Летальная доза для человека: 50–340 мг.

Органами-мишенями при избыточном содержании мышьяка в организме являются костный мозг, желудочно-кишечный тракт, кожа, легкие и почки.

Определенное количество мышьяка содержится в тканях организма как составная их часть.

При остром отравлении соединениями мышьяка они накапливаются в основном в паренхиматозных органах, а при хронических отравлениях – в костях и ороговевших тканях (покрыты кожи, ногти, волосы и др.).

Токсическое влияние мышьяка на человеческий организм варьируется в зависимости от его дозы и продолжительности приема.

Симптомы острой интоксикации – тошнота, рвота, боли в желудке; хронической – слабость, мышечные боли, протрация. Острая и хроническая интоксикация сопровождаются сонливостью, головной болью, спутанностью сознания, судорогами.

В организм человека мышьяк поступает в основном с пищевыми продуктами растительного и животного происхождения. Его среднее суммарное суточное поступление в организм из рациона весьма близко к величине максимально допустимой суточной нагрузки, что ставит мышьяк на особое место среди токсичных элементов. Среднесуточное поступление мышьяка с пищевыми продуктами в организм человека зависит от вида пищевого рациона и при незначительном потреблении продуктов моря и отсутствии загрязнения этим элементом не превышает 0,2 мг (при большом употреблении рыбы – до 1 мг). Предел суточного поступления мышьяка, установленный ВОЗ, составляет 0,05 мг на 1 кг массы тела. Употребление в пищу продуктов с повышенным содержанием мышьяка служит причиной возникновения анемии,

расстройства сердечной деятельности, периферической невропатии, бородавчатого кератоза ладоней и подошв.

Во Вьетнаме проблема загрязнения мышьяком грунтовых вод очень актуальна. Этой проблемой в последние годы заинтересовались различные организации. Исследования показали, что грунтовые воды в дельтах Красной реки и реки Меконг подвержены риску природного загрязнения мышьяком.

В связи с геологическим строением многих областей подземные воды загрязнены мышьяком. Около 13,5% вьетнамского населения (10–15 млн. человек) используют питьевую воду из колодцев.

По неполным статистическим данным, в стране более 1 миллиона скважин, в которых вода с концентрацией мы-

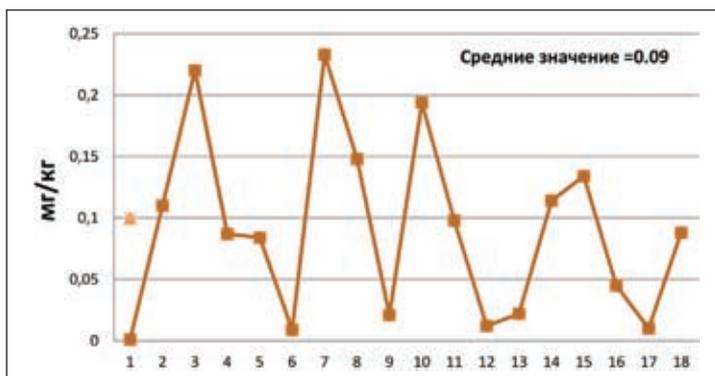


Рис. 1. Количество мышьяка (мг/кг) в волосах Вьетнамцев (провинция Куан Нам)

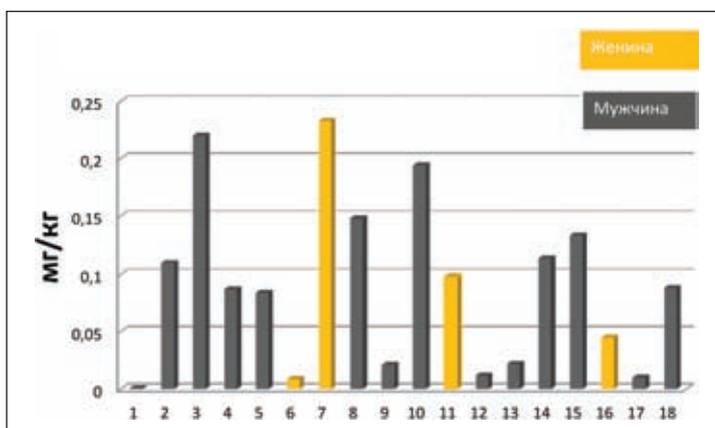


Рис. 2. Среднее количество мышьяка в волосах мужчин и женщин

шьяка выше в 20–50 раз предельно допустимой концентрации (0,01 мг/л), что отрицательно сказывается на здоровье жизни общества.

Опасность в том, что мышьяк не вызывает неприятных запахов в присутствии воды. Смертельно опасная доза может быть так и не обнаружена.

В течение 15 лет американские учёные Стэнфордского университета пытались найти источник загрязнения в Гималаях, где осадки, содержащие опасное вещество, естественным образом попадают в реки, протекающие рядом с густонаселённой местностью. Геологи предположили, что заражение воды происходит очень близко к поверхности земли, когда вода начинает двигаться в почве.

Крупномасштабные исследования в дельте Красной реки проводили Центр технических исследований по окружающей среде и развитию устойчивости (CETASD) Университета естественных наук, Национальный университет Ханоя совместно с экспертами Швейцарского федерального института водных наук и технологий (EAWAG) с 2005 по 2007 г. Результаты анализа показали, что мышьяк может изменяться в очень широких пределах, от менее <0,1 г/л до 810 г/л. В частности, 73 % проб, содержащих менее 10 мкг/л, питьевой воды стандарт для мышьяка во Вьетнаме Министерства здравоохранения, 16 % образцов с мышьяком в диапазоне 10–50 г / л, 8 % формы мышьяка в диапазоне 50–200 г / л, и 3 % образцов с высоким мышьяка, более 200 г/л.

Процент проб с высокой дозой мышьяка превышает стандарты на 45 % в провинции Ханам, 28 % в Хатай, 17 % в провинции Хынг Йен, 10 % в Намдинь и Бак Нинь. В остальных провинциях этот показатель составляет менее 10 %.

В данной работе были рассмотрены пробы волос взятые у мужчин и женщин с провинции Куанг Нам. А так же была исследована речная рыба.

Всего было 21 проба, 3 пробы рыб и 18 проб волос мужчин и женщин.

В работе был использован Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА), который основан на регистрации излучения радиоактивных нуклидов, образующихся при облучении исследуемых проб потоком нейтронов.

Облучение проб производится в ядерном реакторе при потоке медленных нейтронов. Возникающее под действием нейтронов в исследуемых пробах гамма-излучение фиксируется с помощью радиометров или спектрометров. Вместе с исследуемыми пробами в одинаковых условиях облучаются и стандартные образцы. Определения содержания химических элементов производятся путем сравнения интенсивностей излучения проб и стандартных образцов в выбранных энергетических интервалах спек-

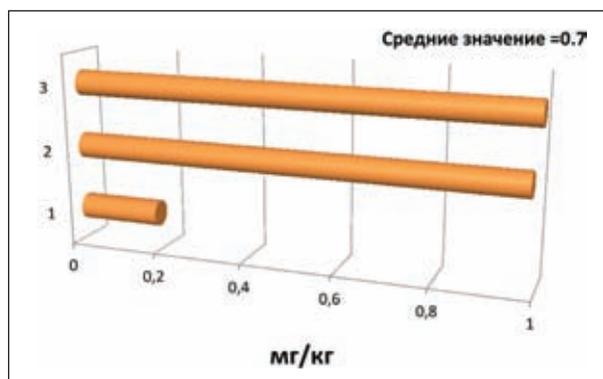


Рис. 3. Количество мышьяка (мг/кг) в рыбе в Куанг Нам, Вьетнам

трометра, а при простом спектре гамма-излучения – по измерениям интегрального гамма-излучения. После окончания облучения пробы выдерживаются некоторое время («остывание»), после чего направляются на анализ.

Рассмотрим графики, полученные в ходе исследования (рис. 1–3).

Данный анализ показал следующие значения.

Среднее количество мышьяка в составе волос населения составляет 0,09 мг/кг, это высокий показатель. Количество мышьяка у 8 из 18 человек больше чем 0,1 грамм. Накопление мышьяка в составе волос варьирует в зависимости от индивидуальных особенностей организма человека. Закономерностей по различию в накоплении мужчинами и женщинами не выявлено.

По трем пробам речной рыбы, отловленной в провинции Куанг Нам во Вьетнаме, видно, что количество мышьяка в граммах в двух из трех проб близко к 1 г.

Среднее количество мышьяка у рыб равно 0,7 грамм, что является высоким показателем, который больше среднего количества мышьяка в волосах человека 0,09 грамм.

Можно сделать вывод, что процесс накопления мышьяка в организме человека следует из-за потребления рыбы, а так же речной воды, загрязненной мышьяком.

Накопление мышьяка в организме человека может привести к образованию рака кожи, а длительное воздействие мышьяка может также вызывать раковые заболевания мочевого пузыря и легких. Отдаленные последствия включают: нейротоксичность, диабет и сердечно-сосудистые заболевания.

За последние годы от разных типов рака скончались жители многих деревень Вьетнама. Количество умерших насчитывается от нескольких десятков до нескольких сотен человек.

Полученные в результате работы данные могут способствовать проведению профилактических мероприятий на территории страны.

## ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $^{137}\text{Cs}$ и $^{60}\text{Co}$ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В оз. ДРУКШЯЙ – ВОДОЕМЕ-ОХЛАДИТЕЛЕ ИГНАЛИНСКОЙ АЭС

О. Ефанова, Е.Д. Марчюленене, Й. Мажейка

Центр исследований природы, Вильнюс, Литва, [radeko@ar.fi.lt](mailto:radeko@ar.fi.lt)

## THE VERTICAL DISTRIBUTION OF $^{137}\text{Cs}$ AND $^{60}\text{Co}$ IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE LAKE DRUKSHIAI WHICH IS THE COOLING POND OF THE IGNALINA NPP

O. Jefanova, E.D. Marciulioniene, J. Mazeika

Nature Research Centre, Vilnius, Lithuania, [radeko@ar.fi.lt](mailto:radeko@ar.fi.lt)

**Abstract.** *The aim of the study was to estimate the vertical distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$  in the bottom sediments in the monitoring stations of the lake Drukshiai when the Ignalina NPP was operating as well as after decommission. The data show that the largest amount of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$  received into the lake Drukshiai immediately after the commissioning of the Ignalina NPP. Currently, the major amount of  $^{137}\text{Cs}$  is depositing in the sediments in the deep-water areas.*

### Введение

Игналинская АЭС (ИАЭС) расположена в северной части Литвы около оз. Друкшяй, которое используется как водоем-охладитель. Первый энергоблок ИАЭС введен в эксплуатацию в 1983 г., второй энергоблок – в 1987 г. Первый энергоблок выведен из эксплуатации в январе 2005 г., второй – 31 декабря 2009 г. После пуска ИАЭС, особенно второго энергоблока, в результате все усиливающегося антропогенного воздействия, в экосистеме оз. Друкшяй произошли как структурные, так и функциональные изменения [1]. С 1984 по 1989 г. в озере обнаружили лишь признаки термического и химического эвтрофирования. Однако, происходящие в нем изменения гидрохимических параметров и термического режима свидетельствуют о том, что при существующем антропогенном воздействии на него (тепловыми сточными водами, сточными водами промливневой и хозяйственной канализаций ИАЭС) произошли существенные изменения видового состава, структуры и биомассы фитопланктона и макрофитов [4, 6]. Появление в озере теплолюбивых микроводорослей и макрофитов привело к увеличению их общей биомассы, а также увеличению скорости синтеза органического вещества. Стали бурно развиваться нитчатые водоросли, что свидетельствует о загрязнении озера.

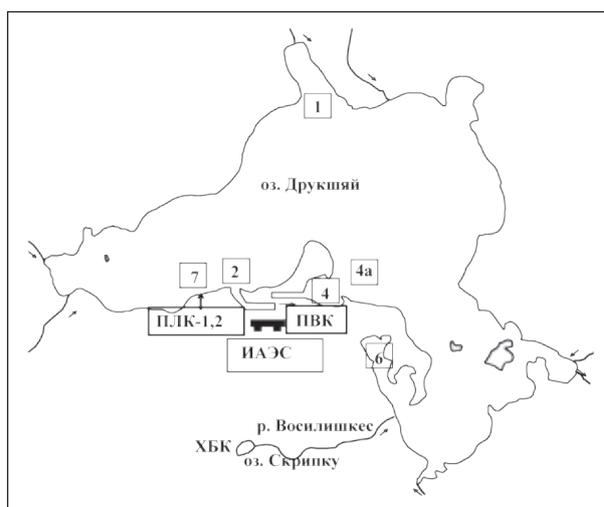
О влиянии ИАЭС на экосистему оз. Друкшяй свидетельствуют и изменение темпов осадконакопления, а также состава формирующих донных отложений. Основной зоной накопления формирующих донных отложений является глубинная часть озера, в отличие от прибрежной полосы. Данные Тамошайтиса и др. [2, 3] свидетельствуют о крайне неравномерной интенсивности осадконакопления (от 1,44 до 10,2 кг/м<sup>2</sup>) на площади оз. Друкшяй после пуска ИАЭС (1984–1989 гг.). Для глубоководных участков озера (станции мониторинга 1 и 2) темп осадконакопления, по сравнению с темпом до начала работы ИАЭС, увеличился соответственно в 1,3 и 1,5 раз. Это может быть результатом, как естественного непостоянства темпа осадконакопления, так и интенсификации продукционных процессов водоема, вследствие эксплуатации ИАЭС (повышении температуры воды и увеличении количества биологических элементов

и т.д.). В пользу второго предположения свидетельствует очень высокий темп осадконакопления в зоне сброса подогретой воды и вблизи нее (на станции мониторинга 4 – 10,2 кг/м<sup>2</sup> и на станции мониторинга 4а – 7,5 кг/м<sup>2</sup>). Такие изменения темпов осадконакопления могли влиять на распределение техногенных радионуклидов в толще донных отложений в оз. Друкшяй.

Целью настоящей работы было определить вертикальное распределение  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  в донных отложениях оз. Друкшяй на глубоководных и менее глубоких станциях мониторинга после введения в эксплуатацию второго энергоблока ИАЭС (1989 и 1996 гг.), а также сразу после выведения ИАЭС из эксплуатации (в 2010–2011 гг.)

### Объект и методика

Для изучения вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  в донных отложениях оз. Друкшяй, пробы отбирали специальным дночерпателем системы Экмана и гравита-



ПЛК-1,2 – канал промливневой канализации; ПВК – канал подогретой воды; ХБК – канал хозяйственной канализации; 1, 2, 4, 4а, 6, 7 – станции мониторинга

Рис. 1. Схема оз. Друкшяй и станций отбора проб донных отложений

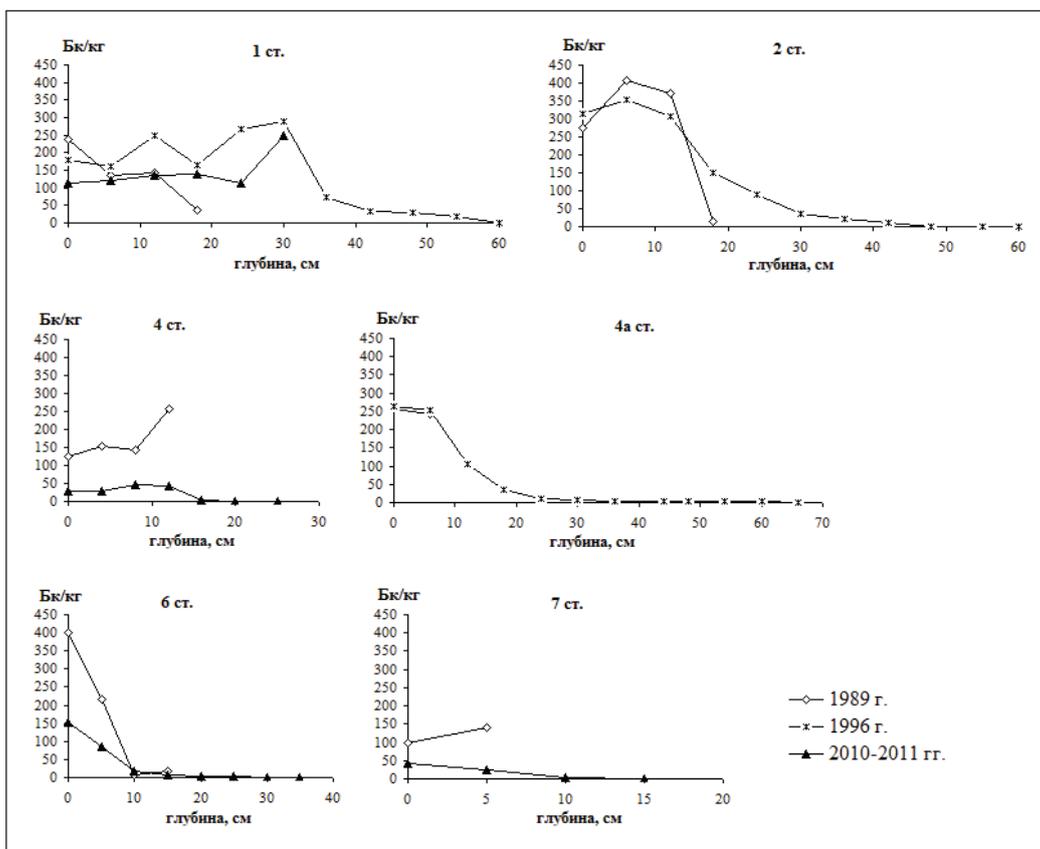


Рис. 2. Вертикальное распределение  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях на различных станциях мониторинга (1, 2, 4, 4а, 6, 7) оз. Дружская

ционной трубкой с последующим разделением донных отложений по слоям. Эти пробы отбирали на шести станциях мониторинга (рис. 1) в 1989, 1996 и 2010–2011 гг. в июле-августе месяце. Подготовка проб донных отложений для измерения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  проводили по стандартным радиоэкологическим методикам [1, 5]. Измерения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  в пробах донных отложений проводили на  $\gamma$ -спектрометре в институте физики и в центре исследований природы.

### Результаты исследований и их обсуждение

Изучение вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях оз. Дружская показало, что, в зависимости от глубины станции мониторинга, этот радионуклид в различных слоях донных отложений распределяется весьма неодинаково. Установлено, что на глубоководной станции мониторинга 1 (глубина 31 м.) наиболее высокие уровни активности  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях были в слое до 12 см в 1989 г., и в слое до 30 см в 1996 г. (рис. 2). Уровни активности этого радионуклида в донных отложениях в слое от 30 см постепенно снижались и в слое от 60 см были ниже измеряемых величин. В 2010–2011 гг. на станции мониторинга 1 уровни активности  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях в слое до 30 см оставались почти на таком же уровне, как и в 1996 г.

В вертикальном распределении  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях похожая картина наблюдается и на глубоководной станции мониторинга 2 (глубина 32 м.) (рис. 2). На этой станции мониторинга в 1989 и 1996 гг. уровни активности

$^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях в слое до 12 см были даже несколько выше, чем на станции мониторинга 1. В 1996 г. на станции мониторинга 2 в донных отложениях в слое от 18 см уровни активности этого радионуклида постепенно снижались и в слое от 48 см были ниже измеряемых величин.

На глубоководных станциях (1 и 2) в донных отложениях был установлен и  $^{60}\text{Co}$ . Уровни активности этого радионуклида в донных отложениях в слое до 16 см варьировали от 15 до 9 Бк/кг на станции 1 в 1989 г., в слое до 9 см варьировали от 59 до 22 Бк/кг на станции 2 в 1996 г. В 2010–2011 гг. на станции 1 во всех изученных слоях донных отложений (до 30 см) уровни активности  $^{60}\text{Co}$  были ниже измеряемых величин.

На станциях мониторинга 4 и 4а (глубина 6 и 7,5 м), которые находятся в зоне сброса подогретой воды, в 1989 и 1996 гг. наиболее высокие уровни активности  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях установлены в слое до 12 см (рис. 2). При этом на станции мониторинга 4 уровни активности этого радионуклида в донных отложениях в слое до 12 см были выше, чем в слое до 8 см. В 1996 г. на этой станции мониторинга уровни активности  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях в слое до 18 см постепенно снижались и в слое от 30 до 60 см не превышали 1–3 Бк/кг, а в слое от 60 см были ниже измеряемых величин. В 2010–2011 гг. на станции мониторинга 4 уровни активности  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях во всех изученных их слоях (до 20 см) распределялись весьма равномерно, однако были значительно ниже, чем в 1989 г. (рис. 2).

В 1989 и 2010–2011 годах на станции мониторинга 4 в

донных отложениях в слое до 12 см, а в 1996 г. на станции мониторинга 4а в слое до 24 см был установлен и  $^{60}\text{Co}$ . На станции мониторинга 4 в 1989 г. уровни активности этого радионуклида в донных отложениях, в зависимости от глубины его слоя, варьировали от 148 до 9 Бк/кг, а в 2010–2011 годах были значительно ниже и варьировали от 6 до 2 Бк/кг. На станции мониторинга 4а в 1996 г. уровни активности  $^{60}\text{Co}$  в донных отложениях в слое до 24 см, в зависимости от его глубины, варьировали от 71 до 10 Бк/кг.

На 6 и 7 станциях мониторинга (глубина 5 и 4 м), которые находятся в зоне влияния соответственно сточных вод хозяйственной и промливневой канализаций ИАЭС, в 1989 г. уровни активности  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях в слое до 5 см были значительно выше, чем в 2010–2011 гг. (рис. 2). Однако как в 1989 г., а так и в 2010–2011 гг. на станции мониторинга 7 в донных отложениях во всех изученных слоях  $^{137}\text{Cs}$  распределяется весьма равномерно, а в 2010–2011 гг. в слое до 5 см был установлен и  $^{60}\text{Co}$  (8 Бк/кг). Эти данные свидетельствуют о том, что хотя поступление радионуклидов в оз. Друкшай в зону сброса сточных вод промливневой канализации до 2010–2011 гг. и уменьшилось но, по-видимому, не прекратилось. В 1989 г. и в 2010–2011 гг. на станции мониторинга 6 в изученных слоях донных отложений  $^{60}\text{Co}$  не был установлен.

Высокие уровни активности  $^{137}\text{Cs}$  в более глубоких слоях донных отложений на станциях 4 и 2 (в слое 12 и 6 см) в 1989 г. на станции 1 (в слое 24 см) в 1996 г., а также на станции 1 (в слое 30 см) в 2010–2011 гг. свидетельствуют о том, что наибольшее количество этого радионуклида в оз. Друкшай поступило сразу после введения в эксплуатацию первого и второго энергоблоков (рис. 2). Об этом свидетельствуют и более высокие уровни активности  $^{60}\text{Co}$  в изученных слоях донных отложений в 1989 и 1996 гг.

На менее глубоких станциях мониторинга 4, 4а, 6 и 7, которые находятся в зонах влияния сточных вод ИАЭС, уровни активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  в донных отложениях в изученных вертикальных его слоях были значительно ниже в 2010–2011 гг. чем в 1989 и 1996 гг. (рис. 2). Это, по-видимому, связано с тем, что постепенно уменьшилось поступление этих радионуклидов в оз. Друкшай со сточными

водами ИАЭС. Однако, на глубоководных станциях мониторинга 1 и 2 уровни активности  $^{137}\text{Cs}$  в изученных вертикальных слоях донных отложений в 2010–2011 гг. оставались на том же уровне как и в 1996 г. Это по-видимому можно объяснить тем, что под воздействием ветрового волнения и прибрежных течений широкая полоса менее глубоких и прибрежных зон озера подвергались образонным процессам, откуда алевритовые и пелитовые фракции донных осадков уносились в глубоководные части озера [2, 3]. В связи с этим глубоководная часть озера становится зоной депонирования  $^{137}\text{Cs}$ . При изменении условий внешней среды донные отложения этой части озера могут стать вторичным источником загрязнения оз. Друкшай этим радионуклидом.

### Выводы

На основе данных вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  в донных отложениях оз. Друкшай на глубоководных его участках и на менее глубоких его участках, непосредственно подвергаемых действию сточных вод Игналинской АЭС, установлено:

1. На глубоководных и менее глубоких участках оз. Друкшай наиболее высокие уровни активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  в донных отложениях установлены в слое до 5 или 12 см в 1989 г. и в слое до 12 или 30 см в 1996 г.
2. Уровни активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  во всех изученных слоях донных отложений оз. Друкшай на менее глубоких его участках в 2010–2011 гг. были значительно ниже, чем в 1989 и 1996 гг., а на глубоководных участках в 2010–2011 гг. были на таком же уровне как в 1996 г.
3. Из полученных нами данных следует, что за время эксплуатации Игналинской АЭС (с 1983 по 2009 г.) наибольшее количество  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  в оз. Друкшай поступило сразу после введения в эксплуатацию первого и второго энергоблоков.
4. В настоящее время основное количество  $^{137}\text{Cs}$  поступившее в оз. Друкшай депонировано в донных отложениях глубоководных участков.

### Литература

1. Марчюленене Д., Душаускене-Дуж Р., Мотеюнене Э., Швобене Р. Радиохемозкологическая ситуация в оз. Друкшай – водоеме охладителя Игналинской АЭС. – Вильнюс: *Academia*, 1992. – 210 с.
2. Тамошайтис Ю., Баярунас Б. Донные отложения. Теплоэнергетика и окружающая среда. – Вильнюс, *Academia*, 1992. – №10(2). – С.80–89.
3. Тамошайтис Ю., Мартинкене Ф., Баярунас Б. Формирование донных отложений. Теплоэнергетика и окружающая среда. – Вильнюс, *Мокслас*, 1986. – №5. – С.15–18.
4. Трайнаускайте И. Состояние макрофитов. Теплоэнергетика и окружающая среда. – Вильнюс, *Academia*, 1992. – №10(2). – С.28–31.
5. Трапезников А.В., Молчанова И.В., Караева Е.Н., Трапезникова В.Н. Миграция радионуклидов в пресноводных и наземных экосистемах. // Из-во Уральского университета. – Екатеринбург, 2007. – 479 с.
6. Янкавичюте Г., Янкавичюс К. Состояние фитопланктона. Теплоэнергетика и окружающая среда. – Вильнюс, *Academia*, 1992. – №10(2). – С.19–23.

## РАДИОНУКЛИДЫ В ТКАНЯХ И ОРГАНАХ ЛЮДЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К СЕМИПАЛАТИНСКОМУ ИСПЫТАТЕЛЬНОМУ ЯДЕРНОМУ ПОЛИГОНУ

Ш.Б. Жакупова<sup>1</sup>, З.С. Зингатинова<sup>1</sup>, М.Т. Джамбаев<sup>1</sup>, А.И. Меркель<sup>2</sup>, Р.К. Апсаликов<sup>3</sup>, А.В. Липихина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИИ Радиационной медицины и экологии, г. Семей, Республика Казахстан, *nii-rm@yandex.ru*

<sup>2</sup>Семипалатинский государственный университет им. Шакарима, г. Семей, Республика Казахстан, *prof@semgu.kz*

<sup>3</sup>Государственный медицинский университет города Семей, г. Семей, Республика Казахстан, *sgma\_mail@mail.ru*

### RADIONUCLIDES IN TISSUES AND ORGANS OF PEOPLE LIVING IN THE TERRITORY ADJACENT TO SNTS (SEMPALATINSK NUCLEAR TEST SITE)

Sh.B. Zhakupova<sup>1</sup>, Z.S. Zingatinova<sup>1</sup>, M.T. Jambaev<sup>1</sup>, A.I. Merkel<sup>2</sup>, R.K. Apsalikov<sup>3</sup>, A.V. Lipikhina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Scientific Research Institute for Radiation Medicine and Ecology, Semey, Kazakhstan, *nii-rm@yandex.ru*

<sup>2</sup>Semey State University named after Shakarim, Semey, Kazakhstan, *prof@semgu.kz*

<sup>3</sup>Semey State Medical University, Semey, Kazakhstan, *sgma\_mail@mail.ru*

**Abstract.** *The results of the study 1999–2002, to assess the level of <sup>239,240</sup>Pu and <sup>238</sup>U in the organs and tissues of more than 70 people living near the Semipalatinsk nuclear test site. The mean concentrations of <sup>239,240</sup>Pu and <sup>238</sup>U observed were 0,050±0,041 mBq/g-ash and 0,28±0,13 mBq/g-ash, respectively. The present <sup>239,240</sup>Pu levels were within the range found for human bone samples from other countries due to global fallout in early 1980s. The mean concentration of U was close to the estimate for the UK and about 10 times higher than those estimated for the residents of New York City and Japan.*

В период функционирования Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИЯП) было проведено 467 ядерных испытаний. Деятельность СИЯП стала причиной радиоактивного загрязнения обширных территорий. В зонах радиационного воздействия находится около 13% территории страны (350 тыс.км.<sup>2</sup>) с населением более 1 млн. человек [1].

Долгоживущие радионуклиды с воздухом попадают в легкие, с пылью – на кожу, с пищей – в желудок и кишечник. Из этих органов они распределяются по всему организму, некоторые радиоактивные вещества выборочно накапливаются в какой-либо ткани, например, в костной, либо в определенном органе, например, в печени или щитовидной железе. Находясь в организме, они оказывают постоянное внутреннее воздействие на человека, вследствие которого возрастает частота возникновения огромного количества заболеваний: злокачественных опухолей, увеличение хромосомных aberrаций, замедление роста, физического и умственного развития [7, 8, 9].

Совместные научно-исследовательские работы по оценке содержания радиоактивности в объектах внешней среды территорий Казахстана, прилегающих к СИЯП, проводились специалистами НИИ радиационной медицины и экологии (Семей, Казахстан) и ИИ радиационной биологии и медицины (Университет Хиросимы, Япония) с 1995 года с целью изучения воздействия радиоактивных выпадений испытаний ядерного оружия на территории и население Восточно-Казахстанской области.

Параллельно с измерениями проб почвы, были также получены пробы человеческой ткани (большей частью образцы костей) в результате аутопсии у населения. Человеческие кости накапливают большое количество плутония и сохраняют его в течение длительного времени. Зная концентрации плутония в органах и тканях человека, можно рассчитать внутреннее облучение людей проживающих

вблизи СИЯП.

Относительно СИЯП доступная информация, связанная с внутренними дозами облученного населения деревень, является довольно ограниченной. Измерения альфа излучателей, таких как Pu-239,240, сами по себе не многочисленны, так как проблематичен отбор проб и измерения. Плутоний один из опаснейших радионуклидов и информация о его распределении и дозовой нагрузке у современного населения на этой территории очень важна при оценке настоящих и будущих рисков для человека.

Для оценки уровня Pu-239,240 и U-238 в органах и тканях людей, проживавших вблизи Семипалатинского испытательного ядерного полигона, в период 1999–2003 гг. было отобрано более 100 проб костей и тканей в результате аутопсии. Субъекты были в возрасте от 25 до 96 лет. Большинство проб были отобраны у людей, которые умерли от хронических, изнуряющих болезней и рака в населенных пунктах около СИЯП и в городе Семей. Внезапная смерть исключалась.

В 1999–2003 гг. были получены образцы костей, в основном позвоночные кости. Пробы были отобраны при аутопсии более чем у 70 жителей, которые умерли в разных населенных пунктах Бескарагайского и Абайского районов и в городе Семей.

**Таблица 1.** Возрастная зависимость концентрации Pu в пробах костей

Возраст (годы)	Количество проб	Активность Pu-239, 240 (мБк/кг-золы)
30–40	9	0,019±0,018
41–50	18	0,032±0,013
51–60	16	0,057±0,046
61–70	30	0,061±0,048
71–86	16	0,057±0,036

В 2000–2002 гг. пробы отбирались в населенных пунктах Бородулихинского, Жанасемейского, Аягузского, Абайского районов и в городе Семей. Было отобрано 9 наборов мягких тканей и костей, и 23 костных образца полученных при аутопсии.

Полученные образцы костей были отобраны из поясничного отдела позвоночного столба. Костный мозг, входящий во все костные пробы, также был проанализирован. Пробы легкого анализировались без отделения легочных (пульмональных) лимфатических узлов от легочной ткани. Печень и почки были так же использованы для анализа без предварительной подготовки.

Данные образцы хранились в 10 % формалиновом растворе в течение нескольких месяцев после вскрытия. Перед их транспортировкой в лабораторию, большая часть формалина была удалена. В лаборатории пробы были высушены в муфельной печи при температуре 105 °С и сожжены при температуре 500 °С в течение 5–8 дней при по-

степенном увеличении температуры.

Изотопные отношения Pu-240/Pu-239, концентрации Pu-239,240 в тканях людей, проживавших около СИАП в период проведения ядерных испытаний, были определены, используя секторно-полевой высокоразрешающий масс спектрометр с индуктивно связанной плазмой.

В результате исследования населенных пунктов вблизи СИАП в 1999–2003 гг. были получены значения концентрации Pu, U и изотопные отношения Pu-240/Pu-239.

Найденные средние арифметические, медианные и диапазонные значения концентраций Pu-239,240 в 89 образцах костей (позвонки – 71, длинные кости – 18) составили  $0,050 \pm 0,041$ ;  $0,036$  и  $0,007$ – $0,23$  мБк/г-золы, соответственно.

Используя средневесовые отношения 10 % золы к сырой пробе, были получены соответствующие концентрации Pu-239,240, которые составили  $5,0 \pm 4,1$ ;  $3,6$  и  $0,7$ – $23$  мБк/кг-сырой пробы, соответственно. Полученные уровни

**Таблица 2.** Концентрации Pu-239,240 и изотопные отношения Pu-240/Pu-239 в тканях 9 субъектов (2000–2002 г.)

Номер пробы	Ткань	Концентрация				Изотопное отношение Pu-240/Pu-239
		Pu-239 мБк/г золы	Pu-240 мБк/г золы	Pu-239,240 мБк/г золы	Pu-239,240 мБк/кг сырой пробы	
1	Кость			$0,080 \pm 0,003$	$8,2 \pm 0,3$	$0,113 \pm 0,012$
	Легкие	$1,56 \pm 0,04$	$0,27 \pm 0,03$	$1,83 \pm 0,19$	$10,9 \pm 1,2$	$0,051 \pm 0,004$
	Печень	$2,44 \pm 0,05$	$1,06 \pm 0,05$	$3,50 \pm 0,17$	$17,5 \pm 0,9$	$0,123 \pm 0,002$
	Почки	$0,25 \pm 0,01$	–			
2	Кость			$0,13 \pm 0,02$	$13,1 \pm 1,7$	$0,107 \pm 0,039$
	Легкие	$0,37 \pm 0,01$	–			
	Печень	$2,10 \pm 0,03$	$0,98 \pm 0,05$	$3,08 \pm 0,17$	$20,2 \pm 0,17$	$0,133 \pm 0,002$
3	Легкие	$0,044 \pm 0,003$	–			
	Печень	$1,80 \pm 0,04$	$1,24 \pm 0,04$	$3,05 \pm 0,12$	$25,8 \pm 1,0$	$0,189 \pm 0,002$
	Почки	$0,047 \pm 0,006$	–			
4	Легкие	$0,62 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,03$	$0,75 \pm 0,15$	$7,8 \pm 1,5$	$0,067 \pm 0,005$
	Печень	$2,41 \pm 0,07$	$1,42 \pm 0,04$	$3,83 \pm 0,16$	$36,2 \pm 1,5$	$0,161 \pm 0,002$
	Почки	$0,069 \pm 0,004$	–			
5	Легкие	$0,91 \pm 0,02$	$0,17 \pm 0,03$	$1,08 \pm 0,22$	$11,5 \pm 2,3$	$0,061 \pm 0,001$
	Печень	$1,08 \pm 0,02$	$0,37 \pm 0,04$	$1,45 \pm 0,16$	$13,9 \pm 0,16$	$0,104 \pm 0,005$
6	Легкие	$0,66 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,02$	$0,78 \pm 0,15$	$8,6 \pm 1,7$	$0,059 \pm 0,003$
	Печень	$4,83 \pm 0,06$	$2,74 \pm 0,02$	$7,57 \pm 0,12$	$46,8 \pm 0,7$	$0,155 \pm 0,003$
	Почки	$0,050 \pm 0,007$	–			
7	Кость			$0,049 \pm 0,007$	$5,1 \pm 0,7$	$0,145 \pm 0,008$
	Легкие	$0,21 \pm 0,005$	–			
	Печень	$0,39 \pm 0,01$	$0,20 \pm 0,30$	$0,60 \pm 0,09$	$2,6 \pm 0,4$	$0,156 \pm 0,014$
	Почки	$0,023 \pm 0,006$	–			
8	Легкие	$0,12 \pm 0,01$	–			
	Печень	$0,46 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,04$	$0,71 \pm 0,11$	$7,3 \pm 1,1$	$0,170 \pm 0,010$
9	Кость			$0,051 \pm 0,005$	$5,3 \pm 0,5$	$0,135 \pm 0,008$
	Легкие	$0,22 \pm 0,01$	$0,043 \pm 0,020$	$0,26 \pm 0,12$	$1,2 \pm 0,6$	$0,078 \pm 0,005$
	Печень	$0,49 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,02$	$0,75 \pm 0,06$	$5,0 \pm 0,4$	$0,144 \pm 0,010$
	Почки	$0,084 \pm 0,010$				

**Таблица 3.** Концентрации  $Pu-239,240$  и изотопные отношения  $Pu-240/Pu-239$  в пробах костей (позвоночник) 23 жителей (2000–2002 гг.)

Номер пробы	Пол	Год рождения	Активность $Pu-239,240$ мБк/г-золы	Изотопное отношение $Pu-240/Pu-239$	Место расположения*
1(B55)	М	1940	0,045±0,003	0,147±0,021	Семипалатинск
2(B56)	Ж	1924	0,042±0,026	0,163±0,023	Семипалатинск
3(B58)	Ж	1928	0,050±0,002	0,141±0,017	Семипалатинск
4(B59)	Ж	1937	0,030±0,003	0,179±0,007	Семипалатинск
5(B60)	М	1962	0,076±0,004	0,057±0,006	Семипалатинск
6(B69)	Ж	1925	0,084±0,003	0,121±0,011	Семипалатинск
7(B70)	Ж	1936	0,029±0,001	0,170±0,003	Семипалатинск
8(B71)	Ж	1939	0,034±0,003	0,180±0,010	Семипалатинск
9(B72)	Ж	1938	0,107±0,006	0,148±0,007	Бородулихинский район, Жирновка
10(B73)	М	1934	0,057±0,005	0,146±0,026	Семипалатинск
11(B74)	М	1929	0,023±0,001	0,178±0,002	Семипалатинск
12(B75)	М	1955	0,065±0,002	0,164±0,017	Аягузский район, Бидоян
13(B76)	Ж	1934	0,056±0,003	0,167±0,012	Семипалатинск
14(B77)	М	1932	0,020±0,001	0,146±0,006	Жана-Семейский район, Шульбинск
15(B79)	М	1932	0,020±0,000	0,156±0,004	Жана-Семейский район, Новопокровка
16(B80)	Ж	1952	0,021±0,002	0,194±0,034	Абайский район, Караул
17(B81)	Ж	1937	0,039±0,002	0,168±0,003	Семипалатинск
18(B82)	М	1937	0,048±0,002	0,133±0,012	Семипалатинск
19(B83)	Ж	1927	0,063±0,004	0,113±0,013	Семипалатинск
20(B63a)	М	1930	0,052±0,002	0,088±0,025	Семипалатинск
21(B68a)	М	1975	0,039±0,002	0,159±0,021	Жана-Семейский район, Знаменка
22(B75a)	М	1924	0,025±0,001	0,180±0,013	Жана-Семейский район
23(B80a)	М	1957	0,028±0,001	0,182±0,003	Жана-Семейский район
Среднее±1σ			0,046±0,022	0,151±0,032	

Примечание: \* – название населенных пунктов и их административно-территориальная принадлежность приведена на период функционирования СИЯП.

$Pu$  были сравнены со значениями, полученными ранее в отдельных странах. Очевидно, полученные результаты сопоставимы с уровнями  $Pu$  в пробах костей, отобранных в других странах в начале 80-х годов [2, 3, 5].

Было установлено что, уровень содержания  $Pu$  в организме для возрастных групп 51–60, 61–70 и 71–86 лет сравнительно выше, чем значения в 30–50 возрастной группе. Так же были обнаружены значительные различия между возрастными группами 31–40, 41–50 лет и у трех групп более 51 года (табл. 1).

Для образцов костей полученных в городе Семей и в других районах, прилегающих к СИЯП (таких как Бескарагайский и Абайский район) не было найдено существенного различия в концентрации  $Pu-239,240$  среди образцов костей (0,058±0,048 мБк/г-золы (n=38) и 0,044±0,034 мБк/г-золы (n=51) соответственно).

Найденные концентрации  $U-238$  были обнаружены в диапазоне от 0,09 до 0,69 мБк /г-золы.

Среднее и медианное значения (n=74) составили 0,28±0,13 мБк/г-золы и 0,25 мБк/г-золы, соответственно. Полученные значения концентрации  $U$  в различных типах костей не выявили заметных различий (в среднем:

0,29±0,14 мБк/г-золы и 0,23±0,11 мБк/г-золы).

Изотопные отношения  $U-234/U-238$  определены в диапазоне 1,02–2,81. Среднее значение 1,62±0,34. (Значение отношений для глобальных выпадений 1,0). Полученные изотопные отношения согласуются со значениями, полученными для проб питьевой воды в различных областях вблизи СИЯП. Причиной высокой концентрации  $U$  в костях людей, живущих вблизи СИЯП, вероятно, является высокая концентрация  $U$  в питьевой воде. Средняя концентрация  $U$ , определенная в исследованном регионе, довольно близка к значениям в Великобритании, и примерно в 10 раз выше по оценкам для жителей Нью-Йорка и Японии [4, 6].

Аналитические результаты проб костей (позвоночник), легких, печени и почек, отобранных у 9 субъектов, и проб костей, отобранных у 23 субъектов в 2000–2002 гг., показаны в таблицах 2, 3.

Для большинства образцов тканей из девяти наборов определены низкие изотопные отношения  $Pu-240/Pu-239$  в пределах 0,051–0,161, за исключением двух проб печени со значениями 0,170 и 0,189. Средние значения изотопных отношений (диапазон и число проб) для костей, легких и печени были, соответственно, 0,125±0,018 (0,113–0,145;

$n=4$ ),  $0,063\pm 0,010$  ( $0,051-0,078$ ;  $n=5$ ) и  $0,148\pm 0,026$  ( $0,104-0,189$ ;  $n=9$ ).

В образцах почек был определен только Pu-239, его концентрация находится в пределах  $0,023-0,25$  мБк/г-золы. Количество Pu-240 было слишком мало, чтобы быть измеренным, вероятно из-за малых размеров анализируемых образцов.

Что касается концентраций Pu-239,240, результаты (мБк/г-золы) у 9 субъектов значительно различаются: кости  $0,049-0,129$  ( $n=4$ ); легкие  $0,26-1,83$  ( $n=5$ ); печень  $0,60-7,57$  ( $n=9$ ).

Среднее значение изотопного отношения Pu-240/Pu-239 для образцов костей 23 субъектов составило  $0,151\pm 0,032$ , и находилось в диапазоне  $0,057-0,194$ .

Диапазон и среднее значение по Pu-239,240 в 23 пробах костей составили  $0,020-0,107$  и  $0,046\pm 0,022$  мБк/г-золы, которые показали  $2,3-10,7$  и  $4,6\pm 2,2$  мБк/кг-сырой пробы, соответственно, используя 10% средне зольно-жидкостное массовое отношение.

Таким образом, данные, полученные при исследовании изотопного состава органов и тканей людей, показали, что средние изотопные отношения Pu-240/Pu-239 были статистически ниже, чем значение отношений для глобальных

выпадения ( $0,178\pm 0,014$ ) и показали, что оружейный плутоний из атомных бомб был включен в человеческие ткани, особенно в легкие, населения проживающего около СЯЯП. Существующие концентрации Pu-239,240 в пробах костей, легких и печени были, тем не менее, не очень отличны от пределов, найденных в человеческих тканях из других стран с облучением вследствие глобальных выпадений в период 80–90 годов. Средняя концентрация U была близка к оценке в Великобритании, и приблизительно в 10 раз выше, чем для жителей Нью-Йорка и Японии.

В идеале все пробы органов и тканей человека должны быть отобраны у погибших внезапной смертью для того, чтобы минимизировать действие процессов заболевания. Кроме того, анализу должны подвергаться пробы большего размера из-за неоднородности плутония в тканях. Было неудачным, что пробы, используемые здесь, были взяты у умерших от заболеваний и рака людей, и что размер проб был маленьким. Тем не менее, важно измерить концентрации Pu-239,240 в человеческих тканях и их изотопные отношения для оценки настоящего и будущего рисков людей от плутония, а также это имеет важное научно-практическое значение и для дальнейших исследований.

### Литература

1. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон. Обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний. Кол. авторов под рук. В.А. Логачева. – М.: 2-я типог. ФУ «Медбиоэкстрем» при Минздраве России, 1997. – 320 с.
2. Bunzl K, Kracke W. Fallout  $^{239,240}\text{Pu}$  and  $^{238}\text{Pu}$  in human tissues from the Federal Republic of Germany. *Health Phys* 44:441-449; 1983.
3. Fisenne IM, Cohen N, Neton JW, Perry P. Fallout plutonium in human tissues from New York City. *Radiat Res* 83:162-168; 1980.
4. Fisenne, I.M. and Welford, G.A. Natural U concentration in soft tissues and bone of New York City residents. *Health Phys*. 50:739-746, 1986.
5. Fox T, Tietjen GL, McInroy JF. Statistical analysis of a Los Alamos Scientific Laboratory study of plutonium in U.S. autopsy tissues. *Health Phys* 39:877-892; 1980.
6. Igarashi, Y., Yamakawa, A., Seki, R. and Ikeda, N. Determination of U in Japanese human tissues by the fission track method. *Health Phys*. 49: 707-712, 1985
7. Ishimaru T., Hoshino C.A. Leukemia in atomic bomb survivors, Hiroshima and Nagasaki. – *Radiation Res.*, 1981. – V.45. – P.216-233.
8. Otake N., Schull W.J. In utero exposure to A-bomb radiation and mental retardation: a reassessment. – *Brit. J. Rad.*, 1984. – V.57. – P.409. – Otake, Schull, 1984.
9. Yamamoto T., Kopecky K.J., Fujikura T. Relation of radiation to gastric carcinoma observed in autopsy cases in a fixed population, Hiroshima and Nagasaki 1961-1974 // *J.Ra.diat. Res.*, 1987. – V.28. – №.2. – P.156-171.

## РЕТРОСПЕКТИВНАЯ И ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К СЕМИПАЛАТИНСКОМУ ИСПЫТАТЕЛЬНОМУ ЯДЕРНОМУ ПОЛИГОНУ

З.С. Зингатинова<sup>1</sup>, Ш.Б. Жакупова<sup>1</sup>, К.С. Усабаев<sup>1</sup>, Д.Ж. Жаскайрат<sup>2</sup>, Р.К. Апсаликов<sup>3</sup>, А.В. Липихина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИИ Радиационной медицины и экологии г. Семей, Республика Казахстан, [nii-rm@yandex.ru](mailto:nii-rm@yandex.ru)

<sup>2</sup>Семипалатинский государственный университет им. Шакарима, г. Семей, Республика Казахстан, [prof@semgu.kz](mailto:prof@semgu.kz)

<sup>3</sup>Государственный медицинский университет города Семей, г. Семей, Республика Казахстан, [sgma\\_mail@mail.ru](mailto:sgma_mail@mail.ru)

### RETROSPECTIVE AND PROSPECTIVE ESTIMATE OF THE RADIOECOLOGICAL STATE OF THE TERRITORY ADJACENT TO SEMIPALATINSK NUCLEAR TEST SITE

Z.S. Zingatinova<sup>1</sup>, Sh.B. Zhakupova<sup>1</sup>, K.S. Ussabaev<sup>1</sup>, D.Zh. Zhaskairat<sup>2</sup>, R.K. Apsalikov<sup>3</sup>, A.V. Lipikhina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Scientific Research Institute for Radiation Medicine and Ecology, Semey, Kazakhstan, [nii-rm@yandex.ru](mailto:nii-rm@yandex.ru)

<sup>2</sup>Semey State University named after Shakarim, Semey, Kazakhstan, [prof@semgu.kz](mailto:prof@semgu.kz)

<sup>3</sup>Semey State Medical University, Semey, Kazakhstan, [sgma\\_mail@mail.ru](mailto:sgma_mail@mail.ru)

**Abstract.** *In the article results radioecological investigations in the territory of Beskaragay and Abay districts, based on archival material of the Research Institute of Radiation Medicine and Ecology, and modern research. In modern times the levels of Cs-137 in soil samples are comparable or slightly lower than the local global, levels Pu-239,240 in the few to tens of times higher than expected global level.*

В мире не существует аналогов радиационных ситуаций, формировавшихся на территориях Казахстана, прилегающих к Семипалатинскому ядерному испытательному полигону (СИЯП). На СИЯП на протяжении 40 лет (с 1949 по 1989 гг.) было проведено 456 ядерных испытаний, с использованием 607 ядерных устройств [7]. За период 1949–1962 годы было проведено 118 атмосферных и наземных испытаний. Остальные 347 испытаний были подземными [8]. В результате деятельности СИЯП в окружающую среду было выброшено беспрецедентное количество высокотоксичных техногенных радионуклидов, чуждых живой природе. Рассеяние радионуклидов и загрязнение окружающей среды приобрело глобальные масштабы. Из всех наземных ядерных взрывов 4 взрыва мощностью 20 кт ТЭ и более (29.08.49 г., W ~ 22 кт; 24.09.51 г., W ~ 38 кт; 12.08.53 г., W ~ 400 кт и 24.08.56 г., W ~ 26,5 кт) определили масштабы радиоактивного загрязнения окружающей среды за пределами территории полигона и внесли вклад в формирование дозовых нагрузок на население [7]. В зонах радиационного воздействия находится около 13 % территории страны (350 тыс. км<sup>2</sup>) с населением более 1 млн. человек.

Цель работы – обобщение архивно-аналитической информации по результатам радиоэкологических исследований прошлых лет и современных исследований на территориях, прилегающих к СИЯП.

Исследования радиоэкологической обстановки за пределами полигона проводились со времен начала испытаний. В первые десять лет испытаний (1949–1959 гг.) измерялась только мощность дозы гамма-излучения по пути прохождения радиоактивного облака в 75 населенных пунктах 15 районов. С 1959 г. начали определять удельную суммарную бета-активность объектов внешней среды. К 1962 г. согласно архивным данным, начались планомерные изучения радиоэкологической обстановки. С этого времени изучались как объекты окружающей среды, так и продукты питания на достаточно широких территориях.

Начиная с 1963 года, в архивных материалах появляются данные по изотопному составу [5]. Исследование современной радиоэкологической ситуации были начаты в 1995 году совместно с ИИ радиационной биологии и медицины (Университет Хиросимы, Япония).

Загрязнение поверхностного слоя грунта в исследованных населенных пунктах носит сложный характер.

В период 1953–1956 гг. наблюдается резкий спад суммарной бета-активности почвы. Например, в 68,6 раза в с. Саржал. Что обусловлено распадом короткоживущих продуктов деления и глубокой миграцией радиоактивных веществ. После запрета на проведение воздушных и наземных испытаний в 1962 г., уменьшения глобальных выпадений, процессов естественной дезактивации почв и радиоактивного спада суммарный запас бета-активных продуктов деления в почвах систематически уменьшался. В 1967 году на исследованных территориях отмечено повышение содержания Sr-90 и Cs-137 в поверхностном слое почвы от серии взрывов «Телькем-I» и «Телькем-II» и взрыва на реке Чаган в 1965 году. К 1977 г. в грунте населенных пунктов Абайского и Бескарагайского районов значение суммарной β-активности почвы ниже средних значений естественной β-активности данного типа почвы. В 1986 году зафиксировано увеличение удельной суммарной активности почвы, что связано с увеличением глобального выпадения Cs-137 от аварии на Чернобыльской АЭС.

Для определения глубокой миграции радиоактивных веществ отбирались пробы грунта до глубины 50 см с различными шагами пробоотбора. Анализируя полученные результаты, можно наблюдать глубинную миграцию радиоактивных следов в изучаемых населенных пунктах. В с. Кайнар (1959 г.) основная суммарная удельная активность (81 %) сосредоточена в пятисантиметровом слое почвы. В с. Саржал (1966 г.) 49,5 % активности лежит в слое 0–4 см, а остальная активность равномерно распределена до глубины 50 см. В с. Сарапан (1967 г.) 82 % радиоактивных про-

дуктов сосредоточено в односантиметровом слое почвы, в слое 1–2 см – 7%, остальные 11% с небольшими флуктуациями равномерно распределены по всей глубине шурфа. В с. Долонь (1977 г.) спустя 29 лет после взрыва первой атомной бомбы суммарная бета-активность равномерно распределена по всей глубине шурфа. Приведенные данные о распределении суммарной бета-активности в глубину позволяют сделать вывод, что миграция радиоактивных следов неоднозначна и не заканчивается на глубине 60 см. Наблюдается несколько пиков на разных глубинах, что связано с неоднократным локальным выпадением радиоактивных осадков от ядерных взрывов, проведенных на СИАП.

По результатам современных исследований прослеживается очень неравномерное распределение Cs-137 на изучаемых территориях. Уровни запаса Cs-137 в населенных пунктах, которые подверглись наиболее сильному радиационному загрязнению в результате деятельности полигона, таких как Саржал, Тайлан, Кайнар, Караул, Долонь, составляют от  $2 \cdot 10^2$  до  $9 \cdot 10^3$  Бк/м<sup>2</sup>. Однако, в этих населенных пунктах были найдены пятнообразные места, уровни в которых были более высоки. Например, в с. Саржал зарегистрирована точка пробоотбора с содержанием Cs-137  $1,5 \cdot 10^4$  Бк/м<sup>2</sup>, максимально зарегистрированное значение в с. Долонь –  $3 \cdot 10^4$  Бк/м<sup>2</sup>.

По архивным данным территории Семипалатинского региона имели поверхностное загрязнение (слой почвы 0–1 см) порядка  $1 \cdot 10^2$ – $4 \cdot 10^4$  Бк/м<sup>2</sup> по Cs-137 [1]. Данные российских исследований [1] показывают плотность радиоактивного загрязнения за пределами СИАП по Cs-137  $1,85 \cdot 10^3$ – $1,85 \cdot 10^4$  Бк/м<sup>2</sup>. Средние уровни для Алтайского края, прилегающего к северным территориям Семипалатинского региона составляют  $1,85 \cdot 10^3$  Бк/м<sup>2</sup>. В Японии содержание глобальных осадков Cs-137 составляет  $6 \cdot 10^3$ – $7 \cdot 10^3$  Бк/м<sup>2</sup> для побережья Японского моря и  $3 \cdot 10^3$ – $4 \cdot 10^3$  Бк/м<sup>2</sup> для побережья Тихого океана.

Таким образом, хотя и существуют единичные участки, на которых уровень содержания Cs-137 превышает данные значения, в большинстве проб содержание Cs-137 почти такое же или ниже, чем его содержание от глобальных осадков в Японии, содержание определенное другими исследованиями, а также отображаемое архивными данными.

Характер распределения Pu-239,240 в почвах исследуемых территорий совпадает с характером распределения Cs-137. Содержание плутония в населенных пунктах Саржал, Тайлан, Кайнар и Караул (южное направление от полигона) было обнаружено в широком диапазоне 34–2000 Бк/м<sup>2</sup>, большинство данных было в пределах 100–300 Бк/м<sup>2</sup> [11]. Содержание плутония в населенных пунктах Долонь, Мостик, Черемушки, Бодене (северное направление от полигона) находится в пределах до  $4,1 \cdot 10^4$  Бк/м<sup>2</sup>. Уровни плутония в почвах других исследуемых населенных пунктов, а также вокруг города Семипалатинска и по направлению к районам Алтая и Усть-Каменогорска показывали более низкие значения от нескольких десятков до нескольких сотен Бк/м<sup>2</sup>. Но в отличие от Cs-137, содержание Pu-239,240 ( $2 \cdot 10^1$ – $8 \cdot 10^4$  Бк/м<sup>2</sup>) на большинстве участков в

несколько десятков раз выше, чем средний предполагаемый уровень глобальных выпадений в Семипалатинском регионе ( $50$  Бк/м<sup>2</sup>) и содержание, наблюдаемое в Японии ( $40$ – $120$  Бк/м<sup>2</sup>). Значительные количества Pu-239,240 в почве этих областей были найдены тесно связанными в почве или соединенными в различные грунтованные хлопья как результат чрезмерного нагревания и плавления почвы во время испытаний [12].

Атомные отношения Pu-240/Pu-239 для большинства проб, как с территории полигона, так и за его пределами, показали довольно низкие значения (в диапазоне  $0,025$ – $0,083$ ) по сравнению со значением глобальных выпадений ( $0,178 \pm 0,014$ ) [1], что также подтверждает факт загрязнения территорий, прилегающих к СИАП, плутонием, использованным при производстве ядерного оружия. Исключения составляют отдельные точки, которые показали относительно высокие значения в диапазоне  $0,125$ – $0,22$  (города Семей, Усть-Каменогорск).

Значения атомных отношений Pu-240/Pu-239 значительно изменяются среди мест пробоотбора, но в целом, они увеличиваются с увеличением расстояния от СИАП. Полученные значения сопоставимы с изотопными отношениями оружейного плутония ( $0,054$ – $0,063$ ) на ядерном полигоне Невада [9] и оружейного плутония ( $0,051$ ) изготовленного на Rocky Flat Plant [10].

Изотопные отношения Pu-238/Pu-239,240 для большинства проб составили  $0,02$ – $0,04$ . Эти значения показали не большие отличия от значений глобальных выпадений, которые предположительно находятся в пределе  $0,03$ – $0,04$  (для северного полушария) [3].

Изотопные отношения Pu-239,240/Cs-137 находились в пределах  $0,1$ – $0,66$ , что значительно выше значений для глобальных выпадений в северном полушарии ( $0,02$ – $0,03$ ). Максимально полученное значение ( $5,68$ ) было зарегистрировано в селе Долонь. Принимая во внимание, что уровень Cs-137 был в пределах или чуть выше уровня глобальных выпадений (за исключением области вблизи эпицентра первого ядерного испытания), повышение изотопного отношения Pu-239,240/Cs-137 указывает на дополнительную вклад (локальные выпадения) плутония от атомных взрывов на СИАП.

Обобщая данные по радиоактивному загрязнению растительности, можно в целом отметить, что оно повторяет картину поверхностного загрязнения почвы. Резкий спад суммарной бета-активности растительности в изучаемых населенных пунктах в период 1953–1956 гг. объясняется распадом короткоживущих продуктов деления от взрыва 1953 года. Так, в с. Саржал отмечено уменьшение в  $84,1$  раза (с  $185000$  Бк/кг до  $2200$  Бк/кг). Высокие уровни загрязнения растительности в 1965 году обусловлены подземным ядерным взрывом на реке Чаган. Например, в с. Сараян до  $825100$  Бк/кг и в с. Чинжи до  $4218$  Бк/кг. Отношения Cs-137 к Sr-90 во всех исследованных населенных пунктах было выше, чем такое соотношение в глобальных выпадениях, что еще раз подтверждает локальный характер загрязнения этих территорий от подземных испытаний. Например, в 1963 г. в с. Кайнар такая величина составляет  $3,31$ , при соотношении в глобальных выпадениях  $1,29$ . В

1968 г. в с. Саржал – 2,16, при соотношении в глобальных выпадениях 1,06. Содержание альфа-излучающих нуклидов в пробах растительности населенных пунктов наблюдаемой зоны в 1981–1984 годах колеблется от 2 до 111 Бк/кг. Поскольку не имеются фоновые значения по альфа-загрязнению растительности наблюдаемой зоны, а лишь литературные данные [2], то можно отметить, что содержание альфа-излучающих нуклидов в растительности населенных пунктов наблюдаемой зоны превышает максимальные известные значения (8,0 Бк/кг) в отдельных случаях более, чем в 10 раз. Загрязнение растительности долгоживущими радионуклидами по всем населенным пунктам снижается и к 1984 году приближается к величинам, обусловленным глобальными выпадениями. К 1989 г. удельная суммарная активность растительности в Бескарагайском районе уменьшилась в 4 раза, концентрация Sr-90 – в 33,5 раза (в период 1963–1984 гг.). В Абайском районе удельная суммарная активность растительности к 1990 г. уменьшилась в 6 раз, концентрация Sr-90 – в 62,5 раза.

За весь период наблюдений суммарная  $\beta$ -активность молока с небольшими флуктуациями остается неизменной. Среднегодовые значения содержания долгоживущего радионуклида Sr-90 в молоке населенных пунктов контролируемой зоны за период 1981–1984 гг. составили величины от 0,364 до 0,981 Бк/л. В некоторых районах Московской области в эти же годы содержание Sr-90 в молоке составило  $(0,03 \pm 0,009)$  Бк/л. Следовательно, можно сказать, что содержание Sr-90 в молоке населенных пунктов наблюдаемой зоны на порядок выше содержания этого же радионуклида в молоке Московской области. Коэффициенты переход радионуклидов из растительности в молоко меняются в широких пределах, так по Sr-90 он составляет от 1% до 28%, а по Cs-137 – от 1,3% до 36%. В Бескарагайском районе с 1957 по 1984 г. удельная суммарная активность молока снизилась до 1,6 раза; с 1967 по 1984 г. удельная активность Sr-90 в молоке снизилась до 13,8 раза, Cs-137 – до 8,5 раза. В Абайском районе удельная суммарная активность молока снизилась до 10,8 раза, активность Sr-90 – до 59,4 раза, активность Cs-137 – до 72,9 раза.

Среднегодовые значения содержания долгоживущего радионуклида Sr-90 в мясе населенных пунктов контроли-

руемой зоны за период 1981–1984 гг. составили величины от 0,231 до 1,484 Бк/кг. При исследовании в Московской области за этот период получены данные по содержанию Sr-90 в пробах мяса в количествах  $(0,14 \pm 0,011)$  Бк/кг [2]. В пробах мяса удельная активность нуклидов имеет отчетливую тенденцию снижения. С 1967 по 1984 гг. в Бескарагайском районе удельная активность Sr-90 снизилась до 3,8 раза, Cs-137 – до 6,2 раза, в Абайском районе до 132 и 55,9 раза соответственно.

При проведении современных радиоэкологических исследований радиоактивного загрязнения продуктов питания, выращенных в этих местах Pu-239,240 не был обнаружен. Предполагаемая причина столь низкого перехода плутония из почвы в растения связана со сплавленной силикатной формой присутствующего в почве Pu-239,240 [11].

Одним из путей поступления радионуклидов в организм человека является использование в пищевом рационе воды. Жители наблюдаемой зоны используют для хозяйственных нужд и питья грунтовые воды. Концентрации суммарной бета-активности в разных населенных пунктах незначительно отличаются друг от друга. Содержание в воде Cs-137 является весьма эпизодическим. То же самое можно сказать и о содержании Sr-90. К 1990 г. удельная суммарная активность воды снизилась до 278,7 раза, удельная активность Sr-90 – до 4,5 раза, Cs-137 – до 9 раз.

Таким образом, проведенный ретроспективный и проспективный анализ радиационной обстановки в населенных пунктах Абайского и Бескарагайского районов позволяет сделать следующий вывод: с 1963 г. (время окончания атмосферных испытаний на СИЯП) по 1990 г. удельная суммарная бета-активность и активность основных дозобразующих радионуклидов имели тенденцию к уменьшению, что связано как с естественным распадом изотопов, так и с их миграцией в более глубокие слои почвы.

В современный период уровни содержания Cs-137 в образцах почвы сопоставимы, либо немного ниже, чем местный глобальный уровень, уровни Pu-239,240 в единицы-десятки раз выше предполагаемого глобального уровня (50 Бк/м<sup>2</sup>). Дифференциация источников заражения плутонием и цезием, их глобальных и выпавших осадков требует дальнейшего исследования.

## Литература

1. Дубасов Ю.В. Радиоактивное загрязнение Семипалатинского полигона и прилегающих территорий в результате атмосферных испытаний 1943–1962 гг. Тезисы докладов научно-технического совещания «Проблемы радиационного загрязнения бывшего Семипалатинского полигона и прилегающих к нему территорий». 7–8 октября 1996 г. НЯЦ РК. – Курчатов, 1996.
2. Исследование радиационно-гигиенической обстановки в наблюдаемой зоне по результатам наблюдений 1981–1984 гг. Отчет предприятия п/я В-8375. – Семипалатинск, 1985.
3. Логачев В.А. Ядерные испытания на Семипалатинском полигоне и их влияние на окружающую среду // Вестник НЯЦ РК, 2000. – Вып.3. – С.9–14.
4. Отчет о деятельности диспансера №4 за 1963 год. – Семипалатинск, 1964.
5. Отчет о научно-исследовательской работе «Динамика параметров радиационно-гигиенической обстановки, сформированной в результате ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне в прилегающих регионах Семипалатинской области» (Ретроспективная оценка за 1953–1996 гг.) МЗ РК. НИИ радиационной медицины и экологии. – Семипалатинск, 1997.
6. Хронология ядерных испытаний в атмосфере на Семипалатинском полигоне и их радиационная характеристика. Ю.В. Дубасов, С.А. Зеленцов, Г.А. Красилов и др. Вестник научной программы «Семипалатинский полигон – Алтай», 1994. – №4. – С.78–86.
7. Ядерные испытания в СССР. Кол. Авторы, под ред. В.Н. Михайлова. – М.: ИздАТ, 1997. – 304 с.
8. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон.

- Обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний. Кол. авторов под рук. В.А. Логачева. – М.: 2-я типог. ФУ «Медбиоэкстрем» при Минздраве России, 1997. – 320 с.
9. Hardy E.P., USAEC Report HASL-306. – New York, 1976. – P.1–51 to I–76.
10. Krey P.W., Hardy E.O., USAEC Report HASL-235. – New York, 1970.
11. Yamamoto M., Hoshi M., Takada J., Sekerbaev A.Kh., Gusev B.I. Plutonium fallout in the environment around the former Soviet Union's Semipalatinsk nuclear test site. – Ishikawa. Japan. 2000.
12. Yamamoto M., Hoshi M., Takada J., Tsukatani T., Sekerbaev A.Kh., Gusev B.I. Distribution of Pu isotopes and <sup>137</sup>Cs in and around the former Soviet Union's Semipalatinsk nuclear test site. JAERI-Conf, 99-001, 59-80, 1999.

## БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ КАЗАХСТАНА

Н.П. Корогод, Б.Х. Шаймарданова, Г.Е. Асылбекова

Павлодарский государственный педагогический институт, г. Павлодар, Казахстан

## BIOGEOCHEMICAL ASPECT OF THE INDUSTRIAL CENTER IN THE NORTH-EAST OF KAZAKHSTAN

N.P. Korogod, B.Kh. Shaimardanova, G.E. Asylbekova

Pavlodar State Pedagogical Institute, Pavlodar, Kazakhstan

**Abstract.** Ranking of the city of Pavlodar on average content of chemical elements in the hair of children, the concentration ratio, the total index of pollution of the city in various media (soil, snow, hair) showed the most environmentally disadvantaged areas, south, west and north-west.

В результате биогенной миграции атомов, согласно биогеохимической теории академика В.И. Вернадского, практически все элементы внешней среды в большей или меньшей степени поступают в организм человека, что определяет его отклик на изменения химического состава среды обитания.

Геохимические изменения урбозкосистемы находят своё отражение не только в микроэлементном составе растительных организмов и животных, но также отражаются в виде концентрирования определенных химических элементов в составе различных органов и тканей организма человека.

В настоящее время наиболее информативными биосубстратами для оценки элементного статуса индивидуума и популяции, а также участия элементов в формировании экологического портрета жителей ряда регионов с разной биогеохимической обстановкой могут являться волосы и кровь [7].

Исследование содержания металлов в биосредах отражает интегральный эффект их воздействия и может быть использовано как последний аналитический «срез» при проведении экологического мониторинга территорий [10].

Цель исследования – обосновать использование показателя накопления химических элементов в волосах детей для экологической оценки качества городской экосистемы в условиях многолетнего техногенного воздействия (на примере г. Павлодара).

### Материалы и методы

Исследования биосубстратов волос детей проводили в 2006–08 гг. в г. Павлодаре. При отборе проб волос использована стандартная методика [6], рекомендованная МАГАТЭ (1989), апробированная и показавшая хорошую

результативность. Пробоподготовку проводили на кафедре Геоэкологии и геохимии Томского Политехнического Университета. Биогеохимическое изучение элементного состава (25 элементов) волос осуществляли методом инструментального нейтронно-активационного анализа (метод ИНАА) на исследовательском реакторе ИРТ-Т в ТПУ. Измерения производили на гамма – спектрометре с германий – литиевым детектором.

Проведена статистическая обработка полученных результатов с учетом малых выборок [8], с помощью пакета программ Statistica 6.0. Диаграммы и графики строили в программе Microsoft Excel. Распределение элементов, построение схем и карт производили с помощью программ Golden Software Surfer 7.0, ArcGis 9. При построении схем распределения элементов использовали два основных метода – Shepards Method и Kriging [5].

### Результаты исследования и обсуждение

В результате проведенных исследований выделены участки с высоким содержанием химических элементов в биосубстратах детей, проживающих на территории г. Павлодара (табл. 1).

Повышенное содержание Cr, Fe, Hg, Ba, Rb, U, Co, Sm характерно для участков, расположенных на северо-западе, западе и юго-западе г. Павлодара. Данные участки прилегают к реке Иртыш и расположены в основной розе ветров. Остальные участки: северо-восточный, восточный, юго-восточный находятся на относительно удалении от реки Иртыш. В юго-восточной части города максимальное накопление в волосах установлено для элементов: Na, Hf. Нами установлено, что в волосах детей из шести участков г. Павлодара показатель коэффициента концентрации относительно ноосферного кларка [3, 4] по четырем элемен-

**Таблица 1.** Содержание химических элементов в волосах детей г. Павлодара, мг/кг

Элемент	Северо-западный участок	Северо-восточный участок	Западный участок	Восточный участок	Юго-западный участок	Юго-восточный участок
Na	163,9±34,5	218,5±36,8	195,7±22,4	164±5,1	219,4±41,6	274,4±48,8
Ca	1275,8±144	1340±275	1450±230	760±189	1383±189	1133±341
Sc	0,007±0,0009	0,01±0,001	0,01±0,002	0,01±0,001	0,01±0,001	0,01±0,001
Cr	0,75±0,15	0,43±0,15	0,80±0,28	0,1±0,01	0,61±0,18	0,17±0,1
Fe	44±6,01	37±7,04	60±3,7	–	67±15,7	37±6,7
Co	0,05±0,008	0,05±0,007	0,07±0,02	0,02±0,01	0,09±0,02	0,04±0,009
Zn	189,7±12,2	244±22	193±13,4	222±41,4	170±13	161±21
Br	6,1±0,8	3,6±0,5	6,01±1,1	3,84±0,6	9,7±1,96	10,1±2,4
Rb	2,3±0,08	2,05±0,05	2,36±0,13	–	2,5±0,11	1,98±0,2
Ag	0,3±0,03	0,2±0,05	0,2±0,03	0,3±0,08	0,3±0,07	0,3±0,04
Sb	0,08±0,04	0,12±0,04	0,04±0,04	–	0,06±0,01	0,04±0,01
La	0,07±0,02	0,04±0,03	0,04±0,01	0,02±0,01	0,05±0,01	0,06±0,01
Ce	0,14±0,02	0,13±0,03	0,15±0,05	0,15±0,05	0,17±0,03	0,12±0,04
Sm	0,02±0,01	0,005±0,002	0,012±0,005	–	0,04±0,01	0,005±0,002
Lu	0,002±0,0001	0,002±0,0003	0,003±0,001	0,002±0,001	0,002±0	0,002±0,002
Th	0,01±0,002	0,02±0,002	0,03±0,008	0,01±0,0001	0,01±0,002	0,01±0,002
U	0,31±0,04	0,2±0,03	0,4±0,07	0,2±0,1	0,4±0,06	0,2±0,06
Hf	0,02±0,004	0,02±0,004	0,02±0,01	0,01±0,04	0,04±0,007	0,01±0,005
Au	0,1±0,01	0,1±0,02	0,1±0,03	0,1±0,04	0,1±0,04	0,1±0,05
Se	0,7±0,04	0,8±0,1	0,8±0,05	0,8±0,1	0,7±0,04	0,8±0,1
Ba	12,7±1,8	11,6±1,2	12,4±1,5	9,4±0,6	12,1±1,3	11,3±0,99
Tb	0,01±0,001	0,01±0,0001	0,01±0,001	–	0,01±0,0002	0,01±0,0002
Ta	0,01±0,002	0,004±0,001	0,01±0,004	–	0,02±0,003	0,006±0,003
Eu	0,01±0,001	0,01±0,001	0,02±0,003	–	0,02±0,002	0,01±0,002
Hg	0,5±0,1	0,3±0,05	0,7±0,2	0,2±0,03	0,6±0,12	0,2±0,03

Примечание: прочерк – значение элемента ниже пределов определения. Различия средних достоверны с точностью до 0,05.

там (Rb, Zn, Se, Hg) изменяется в диапазоне значений от 1,2 до 74,1.

Рассмотрены геохимические ряды накопления элементов в волосах детей из шести участков города, построенных по значениям коэффициентов концентраций ( $K_k$ ):

- северо-западный участок –  $Rb_{69,8} Zn_{4,1} Se_{2,4} Hg_{2,4} Sr_{0,4} Ba_{0,4} As_{0,3} Sb_{0,3} Br_{0,2}$
- северо-восточный участок –  $Rb_{62,9} Zn_{6,0} Se_{2,9} Hg_{1,6} Sr_{0,4} Ba_{0,4} As_{0,3} Sb_{0,3} Br_{0,1}$
- западный участок –  $Rb_{71,4} Zn_{4,2} Se_{2,8} Hg_{2,8} Sr_{0,4} Ba_{0,4} As_{0,3} Sb_{0,2} Br_{0,2}$
- восточный участок –  $Rb_{60,6} Zn_{4,9} Se_{3,1} Hg_{0,9} Sr_{0,4} Ba_{0,3} As_{0,3} Br_{0,2} Sb_{0,1}$
- юго-западный участок –  $Rb_{74,1} Zn_{3,7} Hg_{2,6} Se_{2,4} Br_{0,4} Sr_{0,4} Ba_{0,4} As_{0,3} Sb_{0,3}$
- юго-восточный участок –  $Rb_{60,0} Zn_{3,5} Se_{2,9} Hg_{1,2} Br_{0,4} Sr_{0,4} Ba_{0,3} As_{0,3} Sb_{0,2}$

Наибольшее накопление рубидия (69,8–74,4) и ртути (2,4–2,8) в волосах детей отмечено для западной части города (северо-западный, западный и юго-западный участки). Цинк (4,9–6,0) и селен (2,9–3,1) в большей степени проявляются в биосубстратах человека из восточного и северо-восточного участков. Содержание Hg, Ba, Sb, Zn, Cr

в волосах детей максимально выражено в северной части города, граничащей с промышленной зоной, где функционируют нефтеперерабатывающий, химический, тракторный заводы и две тепловые электрические станции.

Суммарный показатель коэффициента загрязнения изученных биосубстратов человека представлен в следующем ряду убывания: юго-западный участок 84 > западный участок 83 > северо-западный участок 75 > северо-восточный участок 71 > восточный участок 69 > юго-восточный участок 56.

Более высокие показатели  $K_k$  в волосах детей, проживающих в западной части города, свидетельствуют о наличии техногенного воздействия в соответствии с розой ветров (запад и юго-запад) на расположенные здесь участки. Стоит отметить, что среднее содержание и дисперсия распределения большинства химических элементов в составе волос жителей западной и восточной части г. Павлодара достоверны (по критериям Стьюдента и Фишера).

Геохимические данные других исследователей свидетельствуют, что в различных субстратах (снег, почва, овощные культуры) из селитебной части г. Павлодара наблюдается увеличение концентрации токсичных эле-

ментов: Co, Cr, Hg, Zn [1, 2, 9, 11]. Результаты наших исследований по биосубстратам человека согласуются с этими данными. Сравнительный анализ полученных нами данных с литературными по содержанию токсичных элементов показывает высокую степень концентрации ртути и цинка. Это может свидетельствовать об избыточном поступлении этих элементов и активной миграции их в системе: почва–снег–растения–биосубстраты (волосы) человека.

Ранжирование территории г. Павлодара по среднему содержанию химических элементов в волосах детей, коэффициенту концентрации, суммарному показателю загрязнения территории города в различных средах (почва, снег, волосы) выявил наиболее экологически неблагоприятные участки: юго-западный, западный и северо-западный. Эти

данные позволяют утверждать, что уровень накопления изученных химических элементов в волосах отражает степень техногенного влияния развитого промышленного комплекса г. Павлодара и прилегающих к нему территорий.

Таким образом, проведенный биогеохимический анализ позволил выявить территориальную специфику накопления элементов в волосах детей школьного возраста (12–14 лет) и основные зоны техногенного воздействия промышленных предприятий Павлодарской области. Согласно спектру химических элементов могут быть выделены 2 группы главных источников воздействия: предприятия угольной энергетики и металлообработывающей промышленности (Hg, Zn); химическое (Hg, Se, Rb) и нефтехимическое производство (Zn, Se).

### Литература

1. Ажаев Г.С. Оценка экологического состояния г. Павлодара по данным геохимического изучения жидких и полевых атмосферных выпадений. Автореферат дисс. на соискание уч. ст. кандидата геолого-минералогических наук. – Томск, 2007. – 25 с.
2. Гельдымамедова Э.А. Тяжелые металлы в почвах и овощных культурах г. Павлодара Республики Казахстан. Автореферат дисс. на соискание уч. ст. кандидата биологических наук. – Новосибирск, 2007. – 23 с.
3. Глазковская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высш.шк., 1988. – 328 с.
4. Глазковский Н.Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. – М., 1982. – С.12–19.
5. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. Пер. с англ. в 2 кн./пер. В.А. Голубевой, под ред. Д.А. Родинова. Кн. 2. – М.: Недра, 1990. – 427 с.
6. 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.
7. Куценогий К.П., Савченко Т.И., Чанкина О.В., Журавская Э.Я., Гырголькау Л.А. // Тяжелые металлы, радионуклиды в окружающей среде: Доклады IV Международной научно-практической конференции – Семипалатинск, 19–21 октября 2008 г. – Семипалатинск: Семипалатинский государственный педагогический институт, 2008. – Т.2. – С.448–496.
8. Михальчук А.А. Статистический анализ эколого-геохимической информации: учебное пособие. – Томск: ТПУ, 2006. – 235 с.
9. Панин М.С., Гельдымамедова Э.А., Ажаев Г.С. Техногенное влияние на содержание тяжелых металлов в почвах г. Павлодара // Материалы международной научной конференции «Современные проблемы загрязнения почв». – М., 2004. – С.333–335.
10. Тумакова Ю. А. Элементный состав биосред как интегральный показатель опасности полиметаллического загрязнения компонентов окружающей среды урбанизированных территорий и рекомендации по минимизации опасности (на примере г. Казани). автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора химических наук. – Казань, 2006. – 20 с.
11. Эколого-географический атлас городов и промышленных центров Казахстана. – Алматы, 2001. – Т.1,2. – 800 с.

## ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ (Sc, Sb) В ЗОЛЕ ЛИСТЬЕВ ПОЛЫНИ ГОРЬКОЙ *Artemisia absinthium* L.

Я.В. Линькова, А.А. Снегур

Павлодарский государственный педагогический институт, г. Павлодар, Казахстан

### ASSESSMENT OF CHEMICALS (Sb, Sc) PRESENCE IN ASHES OF *Artemisia absinthium* leaves

Y.V. Linkova, A.A. Snegur

Pavlodar State Pedagogical Institute, Pavlodar, Kazakhstan

**Abstract.** Ranging the territory of Pavlodar and the Pavlodar region according to the average presence of metals (Sc, Sb) in ashes of bitter wormwood leaves (*Artemisia absinthium*) revealed that level of impurity of Pavlodar city exceeds indicators within the region.

### Актуальность темы

Город Павлодар является промышленным центром, расположенным на северо-востоке Республики Казахстан. Основной объем электроэнергии в Казахстане вы-

рабатывают 37 тепловых электростанций. Крупнейшая из них ГРЭС-1 Экибастуза. Наибольшую выработку электроэнергии осуществляет Аксуская (Ермаковская) ГРЭС. На территории города расположены заводы: алюминиевый

и электролизный заводы, ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, Павлодарский нефтехимический завод. В связи с этим на биоту города оказывает огромное влияние антропогенное воздействие. Главными источниками загрязнения являются тепловые электрические станции, использующие технологию сжигания высокозольных Экибастузских углей в топках котлоагрегатов. Основная масса выбросов приходится на промышленные предприятия, расположенные в городах Экибастуз (46%), Аксу (26,5%) и Павлодар (25,5%), на долю всех остальных районов области приходится лишь около 2% выбросов [3].

Данных о распределении Sc в растениях очень мало. Коннор и Шаклетт установили, что среднее содержание Sc в кустарниках и деревьях составляет менее 5 мг/кг золы и что только в 3% от общего числа проанализированных образцов Sc присутствовал в достаточных для анализа количествах. Интервал содержаний Sc в некоторых съедобных растениях тропического леса Индианы составил, по данным Дьюка, 0,002–0,1 мг/кг сухой массы. Лаул и др. определили содержание Sc в овощах (0,005 мг/кг) и в траве (0,07 мг/кг).

Есть сведения о высокой концентрации Sc в корнях ячменя (до 0,63 мг/кг сухой массы), причем наибольшие количества Sc растения поглощали на песчаных почвах. Содержание Sc, по-видимому, выше в старых листьях по сравнению с молодыми. Наибольшие его концентрации (0,014–0,026 мг/кг сухой массы) обнаружены во льне, тогда как в листьях салата-латука скандия содержалось всего 0,007–0,012 мг/кг. По данным Боуэна, содержание Sc в лишайниках и мхах составляет 0,3–0,7 мг/кг сухой массы, а в грибах оно меньше (<0,002–0,3 мг/кг) [1].

Сурьма относится к микроэлементам, она обнаружена во многих живых организмах. Установлено, что ее содержание (на сто грамм сухого вещества) составляет в растениях 0,006 мг, в морских животных 0,02 мг, в наземных животных 0,0006 мг. В человеческом организме содержание сурьмы всего 10<sup>-6</sup> % по массе. Поступление сурьмы в организм животных и человека происходит через органы дыхания (с вдыхаемым воздухом) или желудочно-кишечный тракт (с пищей, водой, медикаментами), среднесуточное поступление составляет около 50 мг/кг. При более высокой концентрации сурьма инактивирует (препятствует работе) ряд ферментов липидного, углеводного и белкового обмена (возможно в результате блокирования сульфгидрильных групп).

Накапливаясь с избытком в щитовидной железе, сурьма угнетает ее функцию и вызывает эндемический зоб. При попадании в пищеварительный тракт сурьма и ее соединения не вызывают отравления, так как соли Sb (III) гидролизуются с образованием малорастворимых продуктов, которые впоследствии выводятся из организма.

Основными депо накопления сурьмы являются щитовидная железа, печень, селезенка, почки, костная ткань, также происходит накопление в крови. В эритроцитах накапливается преимущественно сурьма в степени окисления +3, в плазме крови – в степени окисления +5. Концентрация сурьмы в почве в среднем составляет 1 мг/кг. Сурьма не считается жизненно необходимым металлом, но из-

вестно, что ее растворимые формы активно извлекаются растениями из почв. Так по данным Шаклетта и др. [2], содержание сурьмы в тканях деревьев и кустарников, произрастающих в районах рудной минерализации, составляет 7–50 мг/кг сухой массы, при этом ее среднее содержание в наземных растениях оценивается в 0,06 мг/кг сухой массы. В съедобных растениях концентрация сурьмы колеблется в пределах 0,02–4,30 мкг/кг важной массы. По данным Лаула и др. [2], содержание сурьмы в зерне кукурузы и клубнях картофеля не превышало 2 мкг/кг сухой массы, а в травах достигало 29 мкг/кг. Содержание сурьмы в корневой системе значительно выше, чем в листьях. В корневой системе некоторых растений, произрастающих на торфяных почвах, содержание сурьмы в несколько раз ниже.

У сурьмы низкая ПДД – 0,53, что говорит о ее высокой опасности. Сурьма рассматривается как опасный поллютант почв в США и Европейском Союзе. По своей токсичности, распространенности и способности накапливаться она входит в первую десятку наиболее опасных загрязнителей биосферы. Загрязнение почв техногенной сурьмой происходит вблизи предприятий цветной и черной металлургии, при производстве цемента, кирпича, а также при сжигании угля [2].

В данной работе рассматривается уровень накопления скандия и сурьмы в надземной части полыни горькой на территории г. Павлодар и Павлодарской области.

Цель – определить уровень накопления сурьмы и скандия в золе полыни горькой.

### Задачи

- Определить содержание скандия и сурьмы в надземной части *Artemisia absinthium* на территории г. Павлодара
- Определить содержание скандия и сурьмы в *Artemisia absinthium* на территории Павлодарской области
- Изучить характер зонального распределения скандия и сурьмы
- Рассмотреть в сравнительном плане накопление скандия и сурьмы в надземной части полыни горькой на территории г. Павлодара и Павлодарской области.

### Научная новизна работы

Проведено экологическое зонирование и определены особенности накопления загрязнителей в полыни горькой на территории г. Павлодара.

### Материалы и методы исследования

Объект исследования: полынь горькая *Artemisia absinthium* L.

Место отбора проб: на территории города Павлодар было взято 15 точек из 6 условно выделенных участков (рис. 1). Для сравнения с фоновыми показателями были взяты надземные части полыни горькой из 9 населенных пунктов Павлодарской области: села Богатырь, Заря, Иртышск, Кенжеколь, Косагаш, Красноармейка, Мичурино и Харьковка (рис. 2).

При отборе проб полыни использовали стандартную методику, апробированную и показавшую хорошую результативность.

Пробоподготовку материала и последующий химический анализ по методу ИНАА проводили на кафедре Геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Томского политехнического университета.

Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием стандартных программ MS Excel XP.

### Результаты собственных исследований

В результате проведенных исследований по накоплению скандия (редкоземельного элемента) на территории г. Павлодар были выявлены средние значения (табл. 1).

Анализ данных по накоплению скандия в золе полыни горькой на территории г. Павлодар показал, что минимальное значение (104 мг/кг) на участке 1 (северо-западный). Максимальное содержание (450,5 мг/кг) на 6 участке (юго-восточный). Среднее значение содержания скандия по г. Павлодару равно 368,2 мг/кг (табл. 1).

Полученные данные по накоплению скандия в фоновых участках Павлодарской области, показали среднее значение равное 215,5 мг/кг (табл. 2).

Таким образом, максимальное значение содержания скандия на территории Павлодарской области установлено в с. Кенжеколь (280 мг/кг), а наименьший показатель – в с. Харьковка (158 мг/кг).

Высокое содержание скандия может быть обусловлено влиянием алюминиевого и электролизного заводов. Высокое содержание скандия в полыни на территории с. Кенжеколь объясняется наиболее близким расположением к городу.

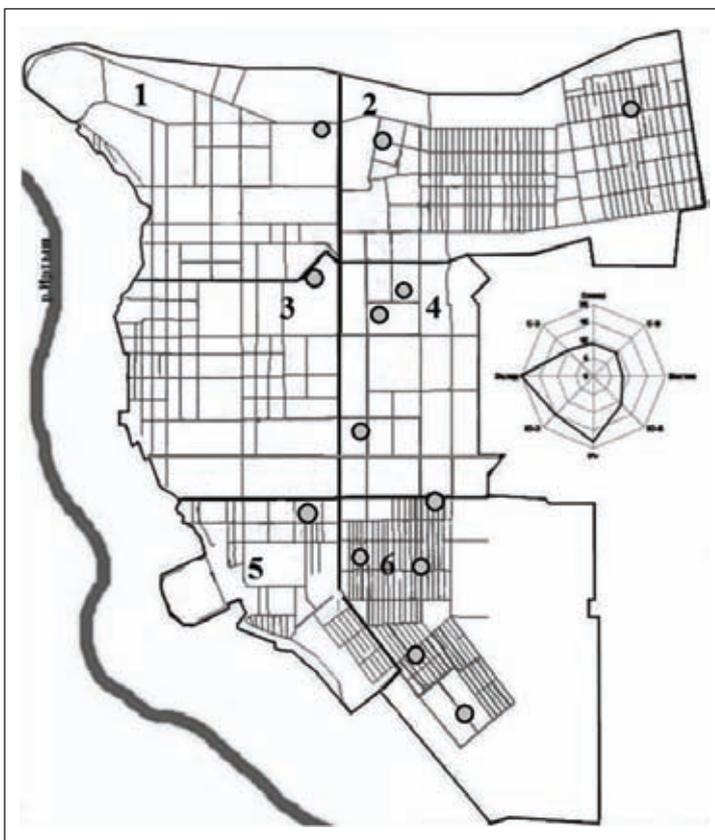
В результате проведенных исследований по накоплению сурьмы на территории г. Павлодар были выявлены средние значения (табл. 3).

Анализ данных по накоплению сурьмы в золе полыни горькой на территории г. Павлодар показал, что минимальное значение (0,17 мг/кг) – на участке №1 (северо-западный). Максимальное содержание (0,96 мг/кг) – на 5 участке (юго-западный). Среднее значение содержания сурьмы по г. Павлодару равно 0,614 мг/кг (табл. 3).

Полученные данные по накоплению сурьмы в фоновых

**Таблица 1.** Уровень содержания Sc в золе полыни горькой на территории г. Павлодар, мг/кг

№ п/п	Участок города	Sc
1	Северо-западный	104
2	Северо-восточный	351
3	Западный	513
4	Восточный	390,6
5	Юго-западный	400
6	Юго-восточный	450,5
Среднее значение		368,2



**Рис. 1.** Карта отбора проб надземной части растения полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.) на территории г. Павлодара: 1 – северо-западный, 2 – северо-восточный, 3 – западный, 4 – восточный, 5 – юго-западный, 6 – юго-восточный

участках Павлодарской области, показали среднее значение – 0,228 мг/кг (табл. 4).

Таким образом, максимальное значение содержания сурьмы на территории Павлодарской области выявлено в с. Павлодарское (0,354 мг/кг), а наименьшее – в с. Заря (0,09 мг/кг).

Высокое содержание сурьмы может быть обусловлено влиянием алюминиевого и электролизного заводов и объясняется близким расположением с. Павлодарского к

**Таблица 2.** Уровень содержания Sc в золе листьев полыни горькой на разных участках Павлодарской области, мг/кг

№ п/п	Точки сбора	Sc
1	с. Мичурино	140,33
2	с. Богатырь	129,5
3	с. Заря	33,67
4	с. Красноармейка	291
5	с. Павлодарское	385
6	с. Кенжеколь	280
7	с. Иртышск	248,33
8	с. Харьковка	158
9	с. Косагаш	274
Среднее значение		215,5

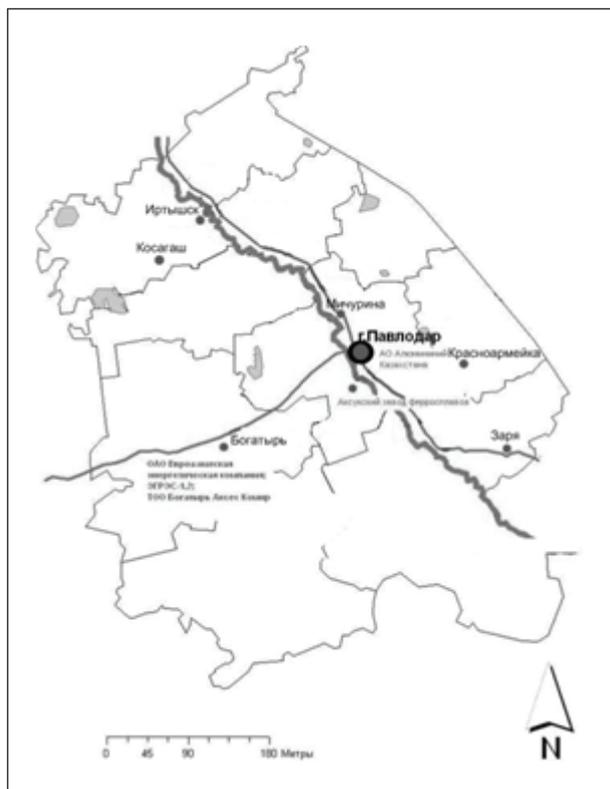


Рис. 2. Карта отбора проб надземной части растения полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.) на территории Павлодарской области

Таблица 3. Уровень содержания Sb в золе листьев полыни горькой на участках г. Павлодар, мг/кг

№ п/п	Участок города	Sb
1	Северо-западный	0,17
2	Северо-восточный	0,495
3	Западный	0,58
4	Восточный	0,75
5	Юго-западный	0,96
6	Юго-восточный	0,73
<b>Среднее значение</b>		<b>0,614</b>

Таблица 4. Уровень содержания Sb в золе листьев полыни горькой на участках Павлодарской области, мг/кг

№ п/п	Точки сбора	Sc
1	с. Мичурино	0,11
2	с. Богатырь	0,21
3	с. Заря	0,09
4	с. Красноармейка	0,32
5	с. Павлодарское	0,354
6	с. Кенжеколь	0,231
7	с. Иртышск	0,27
8	с. Харьковка	0,125
9	с. Косагаш	0,34
<b>Среднее значение</b>		<b>0,228</b>

городу.

### Вывод

Сравнительная характеристика исследуемых территорий г. Павлодара и Павлодарской области позволяет сде-

### Литература

1. <http://phytoremediation.ru/mikroelementi-v-pochvah-i-rasteniyah/elementi-III-gruppi/skandii.php>.
2. <http://phytoremediation.ru/mikroelementi-v-pochvah-i-rasteniyah/elementi-V-gruppi/surma.php>.

лать вывод о том, что полынь горькая, прорастающая на территории города, имеет большее накопление скандия, чем полынь, растущая в сельской местности в 1,7 раза, а накопление сурьмы выше в 2,7 раза соответственно.

3. <http://rybalov.kz>.

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В БИООБЪЕКТАХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.Е. Ляпина

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия, [eeldv@mail.ru](mailto:eeldv@mail.ru)

## ECOLOGY-GEOCHEMISTRY ASSESSMENT OF THE CONTENT OF MERCURY IN BIOLOGICAL OBJECTS OF THE TOMSK REGION

E.E. Lyapina

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Science (IMCES SB RAS), Tomsk, [eeldv@mail.ru](mailto:eeldv@mail.ru)

**Abstract.** Results of measurement of the content of mercury in bioobjects of the Tomsk region are presented: mushrooms, mosses, lichens, needles of different breeds of trees. Possibility of use of biological objects as background at regional level is investigated.

Благодаря атмосферному переносу ртуть широко распространена в природных экосистемах и особую важность приобретают природные компоненты, чутко реагирующие на изменение ее содержания. В качестве природных индикаторов атмосферной эмиссии ртути могут использоваться грибы, лишайники, мхи, хвоя.

В России, и в Сибирском регионе, в частности, дары природы активно используются человеком в пищу, а значит, содержащаяся в них ртуть непосредственно влияет не только на потребляющих загрязненные природные продукты людей, но и на последующие поколения из-за эмбриотоксического, гонадотоксического, генотоксического и тератогенного воздействия ртути [7, 9, 12, 13].

Целью исследований, проведенных в 2002–2006 гг., было определение содержания ртути в биологических объектах (грибах, лишайниках, мхах, хвое) на фоновой территории (болотные экосистемы Томской области). На основании полученных данных рассчитали эколого-геохимические параметры, а так же изучили возможность использования данных биообъектов в качестве индикаторов поступления ртути в результате регионального атмосферного переноса.

Определение содержания ртути в образцах проводилось ртутным газоанализатором РГА-11, методом атомно-абсорбционной спектроскопии, методом пиролиза. Методика определения содержания ртути в биообъектах была

разработана в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН совместно с лабораторией контроля окружающей среды химико-технологического факультета Томского политехнического университета. Концентрации ртути рассчитаны на 1 г сухого вещества пробы [5]. Отбор проб биообъектов, а также их частичный анализ проведен сотрудниками Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН к.б.н. Головацкой Е.А., Головацким Ю.А.

Содержание ртути в исследуемых грибах изменяется от 16 нг/г в грузде настоящем до 162 нг/г в подберезовике (табл. 1). В работе Аношина и др. (1995) [2] несколько большие содержания ртути отмечаются в губчатых грибах, нашими данными эта закономерность также подтверждается. Следует отметить связь между концентрацией ртути в грибах и местом их произрастания, чем выше содержание ртути в почвах, тем больше накапливается ее в грибах. Концентрации ртути в грибах, собранных в Томской области сопоставимы с данными, полученными для грибов других регионов Западной Сибири: Алтайского края, республики Алтай [1] и Новосибирской области [15] (табл. 1). Полученные в ходе анализа данные по содержанию ртути в разных грибах, собранных в различных экологических условиях, превышают допустимое содержание ртути в грибах до 6 раз (50 нг/г по СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых про-

**Таблица 1.** Содержание ртути в биообъектах Западной Сибири

Место отбора пробы	Природный объект	Hg, нг/г	$K_g$	Литературный источник
Грибы				
Алтайский край	груздь	35	0,762	Аношин и др., 1995 [2]
	дождевик	790–5 130/17 801	128	
	подберезовик	290–570/393		
	моховик	47		
Республика Алтай	дождевик	790–5 600/2 393	7,3–48,5	
Новосибирская область	дождевик	630–5 400/3 015		
Томская область	груздь	14–118/712	0,2–1,24	Ляпина и др., 2009 [11]
	дождевик	1 271–3 250/2 241	26,3	
		110–171/137	0,3–0,77	
	моховик	37–107/84	0,31–1,5	
Лишайники				
Алтайский край	эпигейные	1–380/63		Аношин и др., 1995 [2]
Республика Алтай	эпигейные	1–160/52		
		эпифитные	140–320/230	
Новосибирская область	эпигейные	30–160/64		Свирко и др., 2006 [15]
	эпифитные	160–420/380		
Томская область	эпигейные	35–95/59	0,37–1,01	Ляпина и др., 2009 [11]
	эпифитные	233–366/291		
Мхи				
Алтайский край	зеленый	27–460/104		Аношин и др., 1995 [2]
Республика Алтай	зеленый	35–880/163		
Томская область	сфагнум	27–90/58	0,39–1,03	Ляпина и др., 2009 [11]

дуктов»).

Исследования, проведенные в различных видах лишайников на территории Томской области, показали хорошее соответствие с результатами, приведенными в литературе для регионов Западной Сибири (табл. 1). Средние концентрации ртути в эпигейных лишайниках изменяются от 35 до 95 нг/г, существенно выше концентрации ртути (в 3,5 раза) в эпифитных видах лишайников. Это объясняется высокой чувствительностью эпифитных видов лишайников (*Evernia mesomorpha* Nyl., *Usnea subfloridana* Stirt.) к составу атмосферных выпадений [8, 15].

Исследованные мхи отбирались как на участках фоновых болотных массивов, так и на участках осушенных болот. Полученные результаты соответствуют средним значениям для мхов других регионов Западной Сибири (табл. 1). Средние содержания ртути во мхах Томской области варьируют от 27 до 78 нг/г, что соответствует средним значениям для мхов Алтайского края (от 50 до 90 нг/г) [1, 2]. Неоднородность в содержании Hg, в общем, не зависит от места отбора пробы, а так же от концентрации поллютанта в субстрате. Хотя некоторая связь между количеством ртути во мхах и содержанием ее в торфе наблюдается ( $r=0,65$ ).

Коэффициенты биоаккумуляции (табл. 1), рассчитанные для всех грибов, мхов и эпигейных видов лишайников, сравнимы с данными, представленными в литературе (табл. 1).  $K_b$  ртути для растительности суши составляет 7,58, что говорит о ее биологическом накоплении.  $K_b$  всех исследованных грибов, за исключением дождевиков, груздей и моховиков, свидетельствует о биологическом захвате ртути. Коэффициент биоаккумуляции у моховиков, а так же у груздя говорит о накоплении ртути, а у дождевиков – об интенсивном накоплении Hg. Рассчитанный  $K_b$  для мхов рода *Sphagnum* свидетельствует о биологическом захвате ртути мхами.

Сравнение среднего содержания Hg в хвое разных пород деревьев (кедр, пихта, ель, сосна) показало, что максимальное содержание Hg 183 нг/г характерно для хвои сосны, хотя концентрация меняется в довольно широких пределах 49–193 нг/г. Кедр, можжевельник, пихта, ель – разные породы деревьев, произрастающие на одном участке – в заболоченном высокорослом смешанном лесу. Сравнение содержания ртути в разных породах деревьев, произрастающих на данном участке, показало, что максимальное накопление ртути характерно для ели – 164 нг/г, минимальное для кедра и можжевельника – 79 нг/г. Полученные нами данные по содержанию ртути в хвое разных пород деревьев сопоставимы с данными полученными другими авторами.

Среди изученной хвои разных пород деревьев наиболее представлены разными условиями произрастания сосна и кедр, для которых проводился анализ связи накопления ртути с местом произрастания. Из полученных данных меньше всего накоплено ртути в хвое кедра произрастающего в заболоченном высокорослом смешанном лесу – 79 нг/г, а больше всего - в хвое кедра выросшего на высоком ярье – 114 нг/г. Возможно, такое распределение связано с путем поступления ртути в растения: атмосферным посту-

**Таблица 2.** Взаимосвязь содержания ртути в хвое с климатическими параметрами

Hg в хвое	Температура		Осадки	
	г	Р	г	Р
Кедр	0,07	0,91	0,37	0,54
Сосна	-0,63	0,25	0,60	0,29
Пихта	0,43	0,47	-0,66	0,23

**Таблица 3.** Значения ВДК для биообъектов Томской области

Биообъект	$K_{СанПиН}$	Вдк
Грибы: Подберезовик	3,24	
Моховик зеленый	2,43	
Моховик желто-бурый	1,04	
Груздь черный	1,53	
Груздь настоящий	0,33	
Дождевик	60,87	
Мох		0,53
Лишайник (эпигейный)		1,58
Хвоя: Кедр		1,65
Сосна		1,92
Ель		2,75
Пихта		1,87
Можжевельник		1,32

плением (сухое и влажное) и подтягиванием ртути через корни из почвы. Минимальное содержание ртути в заболоченном высокорослом смешанном лесу можно объяснить тем, что хвоя собиралась на расстоянии 1,5–2 метра от земли, где хвоя находится под пологом леса, который частично задерживает атмосферное выпадение ртути. В торфах высокого яря содержится достаточно высокое количество ртути [10], следовательно, возможно частичное поступление ртути в хвою при испарении с подстилающей поверхности.

В хвое сосны максимальные концентрации ртути получены с дерева, произрастающего на территории эвтрофного болота «Самара» – 182 нг/г. Эвтрофное болото характеризуется более богатым минеральным составом торфа, в том числе и более высоким содержанием ртути в торфе [3, 5, 11].

В ходе исследования было выявлено, что в исследованной хвое наблюдается слабовыраженная закономерность накопления Hg в зависимости от места произрастания деревьев. Сильнее это выражено в хвое сосны.

Известно, что в хвое сосен и кедров содержание ртути увеличивается по мере ее старения [2]. В наших исследованиях возрастные отличия в концентрации Hg хвоей выражены слабо, за исключением кедра, что соответствует [2].

Для выявления зависимости концентрации ртути в хвое от климатических показателей, таких как температура воздуха и количество осадков за вегетационный период (май-

**Таблица 1.** Общий химический состав (рН, основные катионы и анионы) поверхностной воды оз. Большие Тороки, все данные приведены в мг/л (М – общая минерализация, Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> измерены методом ИСП-МС)

рН	М	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup>	Mg <sub>2</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sup>+</sup>
9	845	646,6	26,8	164,6	1,41	0,002	0,01	15,2	65,6	147,45	13,35	0,34

сентябрь), были рассчитаны коэффициенты корреляции (табл. 2). Стоит отметить, что с повышением температуры увеличивается содержание ртути в хвое кедр и пихты. С понижением температуры увеличивается концентрация ртути в хвое сосны, ели и можжевельника. Также выявили, что с увеличением количества осадков повышается концентрация ртути в хвое сосны, а обратная зависимость отмечена для хвои пихты, ели и можжевельника.

Положительные корреляции вполне понятны и объяснимы, т.к. при повышенных температурах воздуха более активно идет эманация ртутных паров из подстилающей поверхности, а также – химические и биохимические реакции в воздухе, почве и воде. Так как очищение атмосферы происходит в основном с осадками, то при увеличении количества осадков повышается и вероятность накопления их растительностью. Но в тоже время, с осадками часть ртути смывается с поверхности хвои, тем самым, препятствуя ее проникновению в растение. А большая часть ртути, определенная в хвое имеет как раз атмосферное происхождение.

При исследовании биологических объектов и интерпретации полученных результатов возникают трудности в сопоставлении данных. На почвы, воду, воздух и некоторые продукты питания существуют нормы, прописанные в ГОСТах, СанПиНах и других нормативных документах. Исследований, посвященных определению содержания тяжелых металлов, в том числе и ртути в почвах, поверхностных водах и атмосферном воздухе достаточно для проведения сравнительных характеристик. Данные по содержанию ртути в биологических объектах для конкретных регионов мало и все они недостаточно систематизированы. Кроме того, получаемые концентрации в нативных

экосистемах не высоки, поэтому их принимают в качестве фоновых. Для более точной характеристики, полученных нами содержания ртути в пробах биологических объектов Томской области, рассчитали временные допустимые концентрации (ВДК) [6]. ВДК используются в случаях, когда отсутствуют установленные для какой-то среды значения ПДК. Ориентировочно ВДК рассчитывается по формуле:

$$\text{ВДК} = (1,5-2)\text{Сф}, (1),$$

где Сф – фоновая концентрация элемента.

В данном случае в качестве фонового значения использовали среднее для наземных растений значение 30 нг/г, по Янину. 1992 [17]. Результаты расчетов приведены в табл. 3. Для грибов приведены данные относительно СанПиН.

В результате проведенных исследований по изучению содержания и особенностей накопления ртути в растениях на территории Томской области выявлено, что содержание ртути соответствует данным полученным другими исследователями как на территории Западной Сибири и России, так и в мире. При этом наиболее предпочтительными в качестве биоиндикаторов ртутного загрязнения являются лишайники и мхи. Хвоя отражает ртутную нагрузку за ограниченный период времени (максимум 5 лет). Грибы вызывают интерес для исследования накопления ими ртути с точки зрения употребления в пищу.

Необходимость исследования содержания ртути в растениях определяется еще и тем фактом, что они способны выделять ртуть в воздух в виде летучего соединения – диметилртути со скоростью до 250 мг/кг сырой массы в час [14]. А при возникновении лесных пожаров выделяется до 41,5% ртути, накопленной растениями [16], что вносит дополнительный вклад в региональный баланс ртути.

## Литература

1. Аношин Г.Н., Маликова И.Н., Бадмаева Ж.О. и др. Подвижные формы ртути в почвах природных и природно-техногенных ландшафтов юга Западной Сибири // *Материалы международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты»*. – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С.169–174.
2. Аношин Г.Н., Маликова И.Н., Ковалев С.И. и др. Ртуть в окружающей среде юга Западной Сибири // *Химия в интересах устойчивого развития*, 1995. – Т.3. – №1–2. – С.69–111.
3. Васюганское болото (природные условия, структура и функционирование). – Томск: ЦНТИ, 2003. – С.212.
4. Газоанализатор ртутный РГА-11. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. АМЯ 2.770.001. – Томск, КТИ «Оптика», 1990.
5. Головацкий Ю.А., Головацкая Е.А. Содержание ртути в эвтрофных болотах Томской области. *Материалы второй научной школы «Болота и биосфера»*. – Томск, 2003. – С.110–116.
6. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учебник для студ. ВУЗов. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – С.400.
7. Иванов В.В. «Экологическая геохимия элементов». Справочник. – М.: «Экология», кн.5, 1997. – С.576.
8. Исидоров В.А. Введение в экотоксикологическую токсикологию: Учебное пособие. – СПб: Химиздат, 1999. – С.144.
9. Лапердина Т.Г. Определение ртути в природных водах. – Новосибирск «Наука», 2000. – С.222.
10. Ляпина Е.Е., Головацкая Е.А., Головова Д.С. Концентрация ртути в хвое // *Седьмое сибирское совещание по климатологическому мониторингу: Мат-лы рос. конф. / под ред. М.В. Кабанова*. – Томск: Аграф-Пресс, 2007. – С.279–282.
11. Ляпина Е.Е., Головацкая Е.А., Преис Ю.И. Содержание ртути в торфоболотных экосистемах Западной Сибири // *Актуальные проблемы экологии и природопользования Сибири в глобальном контексте: Сборник статей в двух частях. Ч.2 / под ред. Кирпотина С.Н.* – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – С.203–210.
12. Моисеенко В.Г., Радомская В.И., Радомский С.М. и др. Ин-

- токсикация человеческого организма металлической ртутью. / Вестник ДВО РАН, 2004. – №3. – С.100–110.
13. Популярная библиотека химических элементов. Кн. 2. – М.: Наука, 1983. – С.574.
  14. Растения в экстремальных условиях питания: Эколого-физиологические исследования / под ред. М.Я. Школьника, Н.В. Алексеевой-Поповой. – Л.: Наука, 1983. – С.176.
  15. Свирко Е.В., Страховенко В.Д. Тяжелые металлы и радионуклиды в слоевищах лишайников в Новосибирской области, Алтайском крае и республике Алтай / Сибирский экологический журнал, 2006. – №3. – С.385–390.
  16. Щербов Б.Л., Богуш А.А., Густайтис М.А. и др. Ртуть в грибах на нарушенных территориях // Материала международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С.158–162.
  17. Янин Е.П., Артамонова В.Г., Полканова Е.К. Ртуть. Комплексная система безопасности. // Сборник материалов III-й научно-технической конференции. – С-П.: 1999. – С.26–125.

## БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САПРОПЕЛЯ ОЗЕРА БОЛЬШИЕ ТОРОКИ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

А.Е. Мальцев, В.А. Бобров, Г.А. Леонова, С.К. Кривоногов

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, [maltsev@igm.nsc.ru](mailto:maltsev@igm.nsc.ru)

### BIOGEOCHEMISTRY OF THE BIG TOROKI SAPROPEL LAKE, WESTERN SIBERIA

A.E. Maltsev, V.A. Bobrov, G.A. Leonova, S.K. Krivonogov

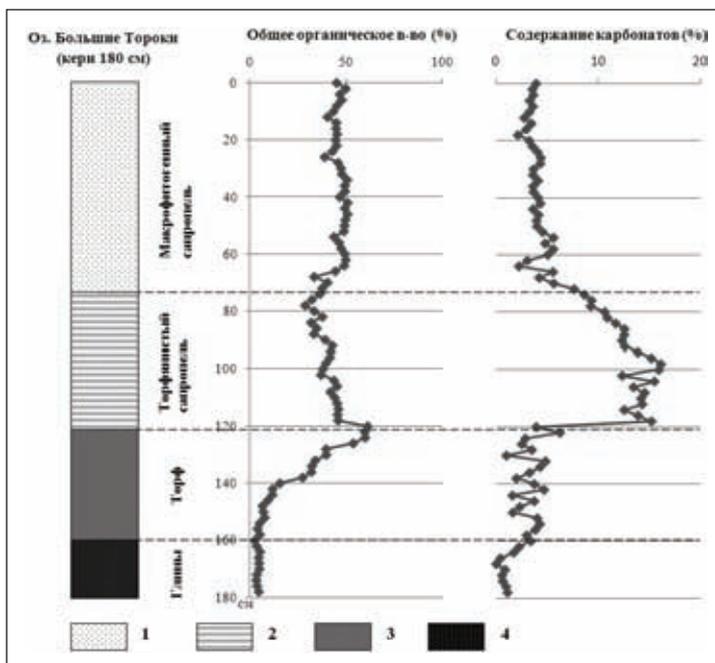
Institute of geology and mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

**Abstract.** We investigated a 1,8 m long sediment core of Lake Big Toroki. The sediments are organic-mineral sapropels (Corg 45,4%). Water macrophytes are the main producers of the organic matter. Total organics, Corg and carbonates vary along the core in compliance with its sediment units. Total organics is 40–50% in the sapropel, 60–61% in 120–130 cm and sharply declines below 140 cm. Corg is 14–18% in 0–70 and 120–135 cm intervals, 9–13% in the middle and sharply declines from 6,4 to 0,47% in 140–180 cm interval. The sediment pore waters showed variations in Fe, Mn, Cu, Zn, Pb and Cd. Sharp peaks of Fe and Mn are in the lower middle (90–130 cm), Cu, Zn and Cd in the upper middle (60–80 cm) and Pb in the top (0–40 cm) parts of the core. Changes of H, N and S, which mostly compose the organic matter, match variations of Corg.

Геохимическая характеристика состава сапропелей дает важную информацию о перераспределении химических элементов в процессах раннего диагенеза и понимание процессов миграции химических элементов в системе живое вещество–осадок. Авторами данной работы исследованы геохимические особенности 1,8 метровой колонки ядра озера Большие Торoki, поднятого методом ударного бурения в августе 2012 года. Озеро Большие Торoki расположено в западной части Новосибирской области, в Каргатском районе (55° 23' с.ш., 80° 37' в.д.). Озеро бессточное, расположено на площади торфяных месторождений [2], глубина около 1 м, площадь озерной ванны – 9,57 км<sup>2</sup>, сильно заросшее макрофитами.

Минерализация озерных вод в момент отбора (август) составляла 845 мг/л и отнесена нами к гидрокарбонатно-натрий-магниевому типу по классификации [1]. Данные по общему химическому составу поверхностной воды озера Большие Торoki представлены в табл. 1.

По содержанию органического вещества (ОВ) (45,4%) и величине зольности (54,6%) в придонном неконсолидированном осадке и в разрезе сапропеля до глубины 130 см донные отложения оз. Большие Торoki отнесены к ор-



**Рис. 1.** Литостратиграфия ядра донных отложений оз. Большие Торoki. 1 (0–75 см) – органогенный ил (макрофитогенный сапропель), водонасыщенный, однородный; 2 (75–122 см) – торфянистый сапропель, однородный с редкими раковинами гастропод. 3 (122–161 см) – торф, в верхней части (122–129 см) скопления раковин гастропод. 4 (161–180 см) – опесчаненные глины

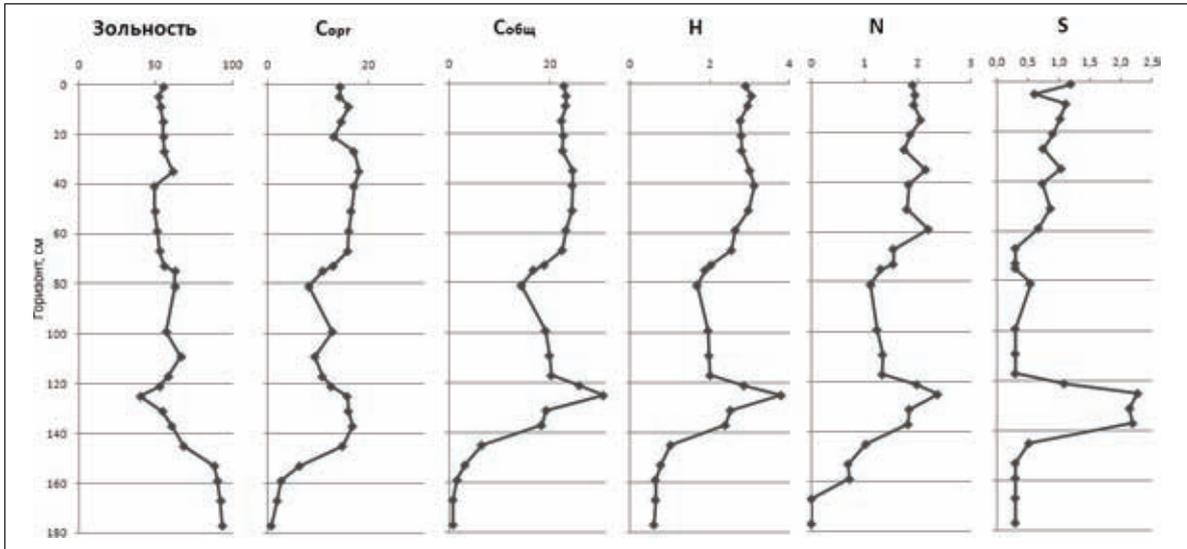


Рис. 2. Распределение по глубине керна сапротеля оз. Большие Тороки зольности,  $C_{орг}$ ,  $C_{общ}$ , H, N, S

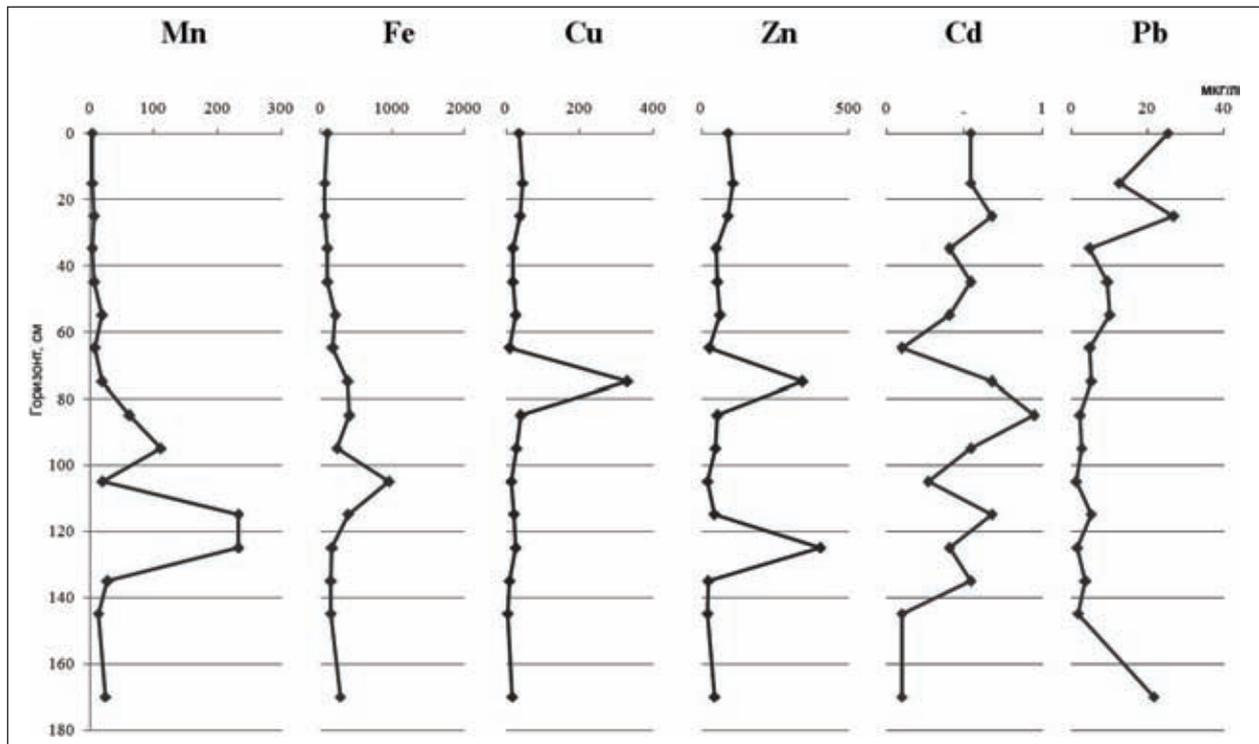


Рис. 3. Концентрационные профили распределения элементов в поровой воде сапротеля оз. Большие Тороки



Рис. 4. Коэффициенты обогащения (EF) в органогенном осадке (1) и глинистом осадке (2) оз. Большие Тороки. Нормирование проведено по Al и кларкам глинистых сланцев

гано-минеральным сапропелям, по классификации [3]. Так как фито- и зоопланктон играет в этом водоеме подчиненную роль (небольшие глубины озера), основным продуцентом органического вещества являются макрофиты. Это позволяет сделать предварительный вывод о формировании в озере Большие Тороки макрофитогенных сапропелей.

В лабораторных условиях выполнено детальное литостратиграфическое описание керн донных отложений оз. Большие Тороки (рис. 1). В нижней части разреза (180–160 см) залегают голубовато-серые опесчаненные глины. Выше по разрезу (160–120 см) располагается слой средне-разложившегося черного торфа, в верхней части (122–129 см) которого обнаружены скопления раковин гастропод. Слой (120–75 см) представлен однородным сильно разложившимся торфянистым сапропелем черноватого цвета с редкими раковинами гастропод. Верхний слой (75–0 см) представлен зеленовато-коричневато-серым водонасыщенным макрофитогенным сапропелем с растительными остатками и редкими раковинами двустворчатых моллюсков.

Получены данные по распределению общего органического вещества (ОВ) по глубине керн оз. Б. Тороки в процентном отношении (рис. 1). Распределение ОВ до глубины 110 см довольно однородно, содержание варьирует в пределах 40–50%. На границе перехода от торфянистого сапропеля к торфу (120–130 см) наблюдается резкое увеличение ОВ до 60–61%, а с глубины 140 см и ниже содержание ОВ резко падает.

Содержание карбонатов по глубине керн оз. Большие Тороки неоднородно (рис. 1). В верхнем слое (0–75 см) содержание карбонатов невысокое (3–4%), максимум концентраций карбонатов (10–16%) приходится на средний участок керн (80–120 см) – визуально здесь наблюдается большое скопление раковин гастропод (*Gastropoda*), предположительно они могли дать высокое содержание карбонатов в этом слое, – ниже по разрезу (120–160 см) содержание  $\text{CaCO}_3$  падает до 1–4%, а на участке керн 160–180 см концентрации карбонатов кальция составляют менее одного процента, это связано с вещественным составом керн в этом горизонте (глины).

Получены данные по распределению в керне оз. Большие Тороки основных биогенных элементов ( $C_{\text{орг}}$ ,  $C_{\text{общ}}$ , N, N, и S) в процентном отношении, а так же показатель зольности (рис. 2).

Распределение органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) по глубине колонки керн оз. Большие Тороки следующее: в верхних участках керн (0–73 см), где залегают собственно сапропель, оно составляет 13–15%, потом падает до значений 8–12% на глубине 75–121 см (торфянистый сапропель), затем возрастает до 14–17% для участка керн 125–145 см (торф), а затем резко падает до значений 0,7–6% для участка 153–180 см (переход торфа в глинистую фракцию). Распределение зольности на графике – диаметрально противоположное распределению органического углерода. Зольность увеличивается вниз по разрезу от 54% в верхних горизонтах до 93% к нижним горизонтам.

Распределение общего углерода ( $C_{\text{общ}}$ ) по глубине колонки керн схожа с таковой  $C_{\text{орг}}$  (рис. 2). В верхних го-

ризонтах керн (1–67 см) содержание общего углерода составляет 20–25%, на глубине 73–109 см концентрации  $C_{\text{общ}}$  немного падают и составляют ~19%, далее наблюдается весьма заметный пик на глубине 80–140 см, здесь концентрации достигают 20–30%. Ниже 140 см концентрации  $C_{\text{общ}}$  резко падают до 0,8%.

Концентрационные профили водорода, азота и серы ведут себя в целом схоже. В верхних горизонтах (0–60 см) концентрации этих элементов составляют: для H 2,6–3,1%, для N 1,8–2,2% и для S 0,7–1,2%. На участке керн 60–117 см наблюдается незначительное понижение содержания этих элементов в сапропеле оз. Большие Тороки (H: 1,7–2,5%, N: 1,1–1,5% и S: 0,3–0,5%). На участке керн 121–137 см наблюдается значительное повышение концентраций H (2,4–3,8%), N (1,8–2,4%) и S (1,1–2,3%), а затем резкое падение концентраций этих элементов (H: 0,6–1%, N: 0–1% и S: 0,3–0,5%). Высокие концентрации этих элементов в верхних и средних горизонтах объясняются их ассоциацией с органическим веществом (основные биогенные элементы органики), и закономерное обеднение ими нижних глинистых горизонтов керн.

Из 10-сантиметровых фрагментов керн отжаты поровые воды по стандартной методике [5]. Определены значения водородного показателя (pH) и окислительно-восстановительного потенциала (Eh). В верхнем горизонте керн (0–10 см) pH=8, Eh=(+0,198 V), ниже по глубине керн эти значения достаточно выдержаны и составили: pH=7, Eh=(-0,169 V). В поровых водах определены концентрации макро- и микроэлементов, на рис. 3 представлены следующие группы элементов: Fe и Mn, Cu и Zn, Cd и Pb. Концентрации Mn и Fe довольно выдержаны по всей колонке керн, за исключением горизонта 100–120 см. Содержания биофильных элементов Cu и Zn в сапропеле тоже довольно выдержаны, за исключением горизонтов 70 и 130 см. Распределение Cd довольно неоднородно по всей колонке и увеличивается на глубине 80–100 сантиметров. Концентрации Pb повышены в верхних участках керн, это связано с привнесом этого элемента из атмосферы.

Проведено сравнение химического состава органо-генного осадка (среднее по 20 образцам) и глинистого осадка (среднее по 7 образцам) с кларковыми концентрациями глинистого сланца [6] с предварительным нормированием по алюминию, как наименее подвижному элементу в системе «озерная вода-осадок», согласно выражению [7]:

$$EF = (x_i/x_{\text{Al}})_{\text{образец}} / (x_i/x_{\text{Al}})_{\text{глин.сланец}}$$

где,  $x_{\text{образец}}$  – содержание i-го химического элемента в объекте исследования;  $x_{\text{Al}}$  – содержание алюминия в объекте исследования;  $x_{\text{глин.сланец}}$  – содержание химического элемента в глинистом сланце;  $x_{\text{Al глин.сланец}}$  – содержание алюминия в глинистом сланце.

Полученные данные представлены на рис. 4. Распределение всех элементов по глубине колонки керн существенно не меняется (однородное). Наблюдается обогащение органо-генной части осадка (0–131 см) Ca и обеднение Be. Обогащение кальцием связано с поступлением этого элемента из растительного детрита, а дефицит бериллия, по-видимому, связан с выщелачиванием этого элемента в поровый раствор сапропеля. Наблюдается обогащение

органической части осадка Sb и незначительное обогащение биофильными элементами Cu и Zn, а также небольшое обогащение техногенными элементами Hg и As. Глинистый осадок (горизонт 131–177 см) схож по элементному составу с глинистыми сланцами [6], значения коэффициентов обогащения (EF) для всех элементов близки 1, только для Na и Sb наблюдается небольшое увеличение значений EF, а для Mn, напротив, уменьшение этих значений.

Таким образом, верхняя (0–140 см) толща донных отложений оз. Большие Тороки представляет собой орга-

но-минеральный макрофитогенный сапропель с содержанием  $OB=40-50\%$ , зольностью  $=48-62\%$  и  $C_{орг}$  равным  $14-16\%$ , и достаточно высоким содержанием всех биогенных элементов (H, N, S). Следует особо отметить значительное обогащение Ca органической части осадка (0–131 см), что еще раз говорит о значимом вкладе макрофитов (растений-кальцефилов [4]) в формирования сапропеля оз. Большие Тороки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного проекта №52.125.

### Литература

1. Алевин О.А. *Общая гидрохимия*. – Л.: Гидрометеиздат, 1948. – 207 с.
2. *Органо-минеральное сырье сельскохозяйственного назначения Новосибирской области*. – Новосибирск, 1990. – 169 с.
3. Кордэ Н.В. *Биостратиграфия и типология русских сапропелей*. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 219 с.
4. Лукашев К.И. *Геохимия озерно-болотного литогенеза*. – М.: Наука и техника, 1971. – С.96–207.
5. Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Богущ А.А., Бобров В.А. *Особенности химического состава поровых вод из керна донных отложений оз. Духовое (Южное Прибайкалье): Матер. XIX-ой Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии*. – М.: Геос, 2011. – Т.IV. – С.101–109.
6. Li Yuan-hui. *Distribution patterns of the elements in the ocean: A synthesis // Geochim. et. Cosmochim. Acta.*, 1991. – V.55. – P.3223–3240.
7. Shotyk W., Cheburkin A.K., Appleby P.G. et al. *Two thousand years of atmospheric arsenic, antimony and lead deposition in an ombrotrophic bog profile, Jura Mountains, Switzerland // Earth and Planetary Scien. Letter.*, 1966. – V.145. – P.1–7.

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОЛЬЦАХ ДЕРЕВЬЕВ

А.С. Миронова, А.А. Капустина

Томский политехнический университет, Томск, Россия

**Abstract.** *The article discusses application of tree ring element composition as an indicator for changing dynamics in biosphere geochemistry under the impact of technogenesis. The data on accumulation of some elements in the tree rings growing in the zone of Semipalatinsk nuclear testing polygon are presented.*

Годичные кольца древесных растений, образуясь последовательно во времени, фиксируют в своём составе элементный состав текущего окружения и, поэтому, представляют огромный интерес в качестве объектов для изучения динамики изменения геохимического состава биосферы [3].

При исследовании поперечного среза ствола дерева можно видеть многие различные участки. В центре колец – маленькая окружность материи – это сердцевина дерева. Это основная ткань, которая вероятно не функционирует, хотя она может содержать в себе определённое количество воды и ненужных субстанций. Сердцевина окружена ксилемой, которая является древесиной дерева и содержит все ежегодно растущие кольца, сформированные в течение жизни дерева. Ксилема состоит из двух различных зон, которые могут легко различаться в большинстве типов дерева: внешние (наружные) кольца, обычно светлые – заболонь. Через первые несколько колец заболони осуществляется проводимость сока. Внутренние кольца ксилемы – ядровые кольца, которые обычно темнее, благодаря содержащимся здесь смолам и красящим веществам. Ядровая древесина обычно считается умершей и является поддержкой или вместилищем ненужных материалов. Ксилема окружена слоями камбия, в которых производятся

новые ксилемные и флоемные клетки, из которых начинают расти новые кольца. Окружение камбия – это клетки внутренней коры, через которые транспортируются вещества из листьев. Каждый новый слой ксилемы окружён защитной наружной корой [5]. Ширина годичного кольца – это прирост дерева в толщину за данный год. Годичные кольца наиболее характерны для многолетних древесных растений умеренных широт, когда периоды интенсивного весенне-летнего роста камбия чередуются со временами осенне-зимнего покоя. Каждое кольцо состоит из двух частей – светлой и тёмной. У хвойных деревьев годичные кольца хорошо видны, так как их поздняя древесина принимает тёмный цвет. Ширина годичных колец зависит от множества факторов [2]:

- 1) корреляция между шириной годовых колец на пробах разной высоты на одном и том же дереве составляет 0,88–0,97;
- 2) корреляция ширины колец одновременно высаженных по-соседству деревьев менее 0,5;
- 3) годовые изменения ширины колец зависят от возраста дерева: у молодых деревьев ширина колец возрастает, у зрелых – экспоненциально убывает;
- 4) годовая ширина колец дерева зависит от местного климата и условий роста дерева, солнечной актив-

ности, от высоты взятия пробы;

- 5) деревья разных пород по-своему реагируют на климатические колебания.

Для проведения нашей исследовательской работы, отбор проб осуществлялся с помощью бурава Пресслера. При помощи полого бура из ствола дерева выкручивают керн толщиной 3 мм, на котором видны полосы – годовичные кольца. Прделанное в дереве отверстие потом зарастает. Как известно, годовичные кольца деревьев несут информацию об усвоении ими различных химических элементов, в том числе и радионуклидов, как природных, так и техногенных [3]. Наши исследования направлены на изучение распределения элементов по годовичным кольцам деревьев.

В 2011 году на кафедре ГЭГХ ТПУ был проведен отбор проб кернов в четырёх населённых пунктах: в сёлах Черёмушка, Мостик и Долонь (Казахстан, Бескарагайский район) и в посёлке Тимирязево (Томский район). Годовичные кольца (по 5 лет) были проанализированы в ядерно-геохимической лаборатории МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ (г. Томск) методом ИНАА на комплекс из 28 элементов.

Территория Бескарагайского района примыкает к зоне Семипалатинского ядерного полигона. Посёлок Тимирязево предполагалось использовать в качестве фонового (наименее загрязнённого) населённого пункта. Для анализа полученного материала пробы были объединены по периодам: до ядерный (1892–1941 годы), ядерный (1942–1966 годы), после ядерный (1967–1991 годы) и современный (1992–2011 годы).

На рисунках 1 и 2 представлены графики среднего содержания химических элементов Са и Na разных периодов в местах отбора проб. Эти элементы являются необходимыми для жизни и роста растений. Натрий регулирует транспорт углеводов в растении. Хорошая обеспеченность растений натрием повышает их зимостойкость. При его недостатке замедляется образование хлорофилла. Кальций используется как строительное вещество, увеличивает прочность растительных тканей и способствует повышению выносливости растений. Концентрация Са и Na для всех периодов приблизительно одинакова. В целом, тенденция их накопления – постоянная [4]. Семипалатинский испытательный ядерный полигон (СИЯП) расположен на пересечении трех областей Казахстана: Павлодарской, Карагандинской и Восточно-Казахстанской и занимает площадь 18 тыс. кв. км. За время функционирования СИЯП (1949–1989 годы) на его территории было проведено 466 ядерных испытаний, в том числе: 25 наземных, 88 воздушных и 348 подземных ядерных взрывов. В результате испытаний территория полигона и прилегающие территории были покрыты остатками радиоактивного распада – радионуклидами [1].

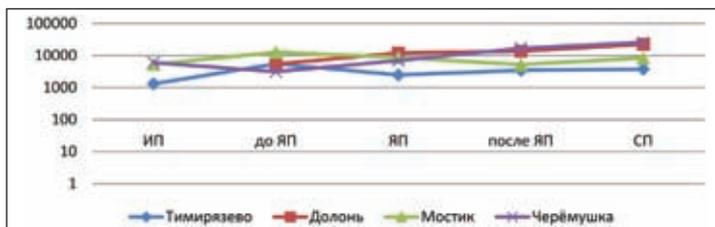


Рис. 1. Среднее содержание Na (мг/кг) в золе сосны; \*ИП – индустриальный период, до ЯП – до ядерный период, ЯП – ядерный период, после ЯП – после ядерный период, СП – современный период

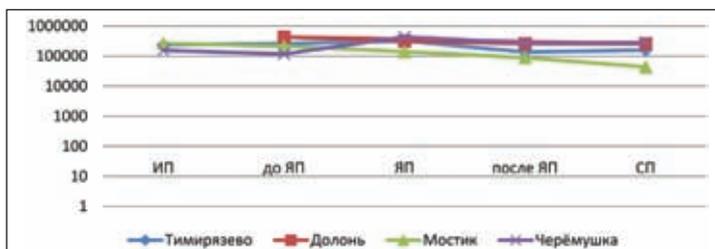


Рис. 2. Среднее содержание Са (мг/кг) в золе сосны

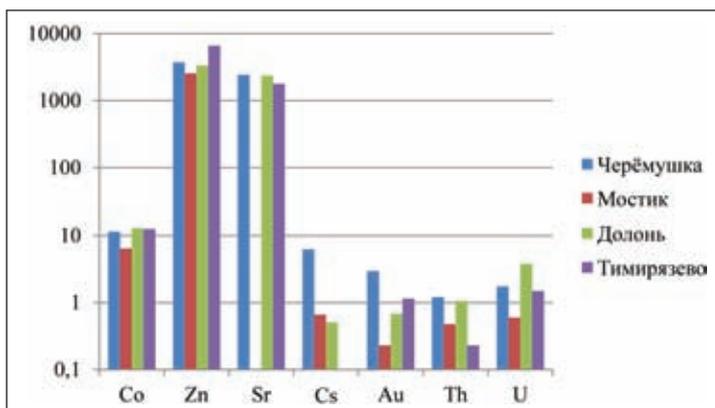


Рис. 3. Среднее содержание элементов в золе сосны в 1942–1966 гг. (мг/кг)

В работе было прослежено влияние ядерных испытаний на элементный состав годовичных колец сосны. Наиболее подверглись загрязнению радионуклидами населённые пункты, располагающиеся ближе всего к СИЯП: села Черёмушка и Долонь (Рисунок 3).

Для продолжения работ нами в 2012 году были отобраны пробы в Томском районе (24 точки отбора), в Томской области (3 точки), а также в Кемеровской области и Забайкалье (в районе проведения подземного ядерного взрыва и фономом районе).

Планируется проанализировать специфику накопления химических элементов, произрастающих в местах природных и техногенных аномалий.

Анализ данных проб Томского района позволит проследить воздействие предприятий Томска и Северска, ПЯТЦ СХК, ТНХК, ТЭЦ и ГРЭС на окружающую среду. Забайкалье можно отнести к экологически чистому, нетронутому району. Кристалл-4 (Кемеровская область) является

местом проведения подземных ядерных испытаний в 1984 году.

Годичные кольца относятся к стратифицированным (последовательно образующимся во времени) природным образованиям, которые считаются достаточно надёжными

объектами мониторинговых исследований, раскрывающих динамику, интенсивность и специфичность техногенного воздействия на среду обитания человека.

Годичные кольца деревьев представляют огромный интерес для ретроспективного экологического мониторинга.

### Литература

1. Аномальная термальная зона в районе Семипалатинского испытательного ядерного полигона. URL: <http://unesco.freenet.kz/econet/r-pub-semk.htm>.
2. Битвинская Т.Т. Дендроклиматические исследования. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974.
3. Ю.В. Робертус, Л.П. Рихванов, Р.В. Любимов. Дендрогеохимическая индикация трансграничных переносов экотоксикантов на территорию Алтая // Изв. ТПУ., – 2010. – Т.317. – №1. – С.97–103.
4. И.В. Болгова, И.А. Шапошникова, Р.А. Фандо. Таблица Менделеева в живых организмах. URL: <http://bio.1september.ru/2008/05/6.htm>.
5. R.E. Tout, W.B. Gilboy, N.M. Sprou. Neutron activation studies of trace elements in tree rings. // Journal of Radioanalytical Chemistry, 1977. – Vol.37. – P.705–715.

## ОЦЕНКА НОРМАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСАХ ДЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЦЕНТИЛЕЙ И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ

Д.В. Наркович, Н.В. Барановская

Томский политехнический университет, Томск, Россия, [nata@tpu.ru](mailto:nata@tpu.ru)

### ESTIMATION OF STANDARD INDICATORS FOR ELEMENT CONTENT IN CHILDREN'S HAIR USING THE CENTILE METHOD AND HEALTH STATE FORECAST

D.V. Narkovich, N.V. Baranovskaya

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, [nata@tpu.ru](mailto:nata@tpu.ru)

**Abstract.** The article presents the data on centile method applied in development of conditional standard indicators for element accumulation in children's hair. The problem of element excess and deficiency has been considered by the analysis of children's hair living in different regions of Tomsk Oblast.

Различными исследователями [1, 2, 16, 17] накоплено множество данных, подтверждающих зависимость элементного состава живых организмов, в том числе человека, от содержания химических элементов в среде обитания, т.е. состав внутренней среды организма испытывает влияние внешней. Серьезное влияние на формирование состава волос оказывают эколого-геохимические условия обитания [2–5, 22]. Высокая концентрация некоторых химических элементов в компонентах среды (вода, донные осадки, растительность и почва), обусловленная наличием техногенных факторов, при поступлении в организм человека и дальнейшем их накоплении оказывает большое влияние на уровень и частоту заболеваемости местного населения. Одним из маркеров, который не реагирует на кратковременные изменения в питании и способен отражать картину обеспеченности химическими элементами организма на протяжении нескольких месяцев, являются волосы.

В то же время, сведения разных авторов о нормальном диапазоне содержания большинства химических элементов в волосах разноречивы, так как различные регионы характеризуются различными ландшафтно-геохимическими, природно-климатическими условиями и уровнем антропогенной нагрузки, следовательно, и элементный со-

став волос людей в каждом регионе носит специфический характер. Поэтому концентрация какого-либо вещества в организме, являющаяся нормой для одного региона, не будет являться нормой для другого региона.

Показателем, который учитывает особенности антропогенной нагрузки каждого региона, является центиль, отражающий содержание жизненно необходимых и токсичных элементов в рассматриваемом биосубстрате человека [12]. Центильный метод является способом оценки здоровья, который позволяет выявить и оценить изменения в организме детей 1 группы здоровья на стадии предболезни,

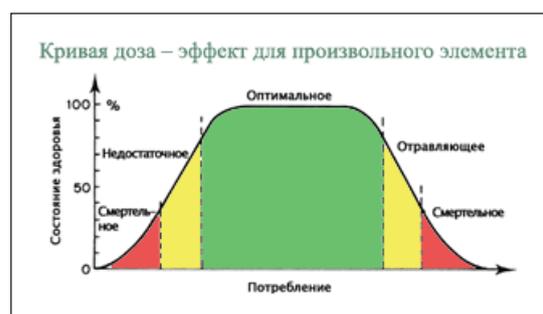


Рис. 1. Зависимость ответной реакции организма от концентрации веществ в пище (Bowen, 1966)

**Таблица 1.** Центильные шкалы для оценки содержания химических элементов в волосах детей в возрасте от 1 до 3 лет ( $n=43$ , Томская область)

Элементы Центили	Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	Se	Br	La	Sm	Au
3	20	300	0,002	0,2	20	0,002	44	0,001	1,2	0,009	0,002	0,001
5	60	400	0,0023	0,21	25	0,005	80	0,004	1,8	0,01	0,006	0,002
10	160	440	0,003	0,29	28	0,01	101	0,07	2,85	0,012	0,014	0,003
25	290	500	0,006	0,35	40	0,049	117	0,51	4,2	0,07	0,032	0,007
50	500	950	0,02	2,65	128	0,15	156	0,73	10	0,18	0,13	0,025
75	740	1720	0,031	4,68	360	0,42	230	1,28	21,2	0,35	0,22	0,044
90	1800	3200	0,058	22,4	1000	0,84	260	1,91	33	0,77	0,28	0,061
95	2050	3300	0,34	23,9	4300	0,9	264	1,96	46,3	0,87	0,3	0,076
97	2100	4100	0,35	25,1	4600	0,97	269	2,29	52,8	0,88	0,37	0,122

**Таблица 2.** Центильные шкалы для оценки содержания химических элементов в волосах детей в возрасте от 4 до 6 лет ( $n=73$ , Томская область)

Элементы Центили	Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	Se	Br	La	Sm	Au
3	30	300	0,002	0,12	10	0,002	58	0,08	1,5	0,01	0,002	0,001
5	49	410	0,003	0,2	22	0,006	64	0,2	1,63	0,02	0,009	0,002
10	105	460	0,005	0,27	28	0,012	76	0,47	2,15	0,034	0,01	0,006
25	250	630	0,007	0,3	34	0,042	124	0,59	3,9	0,056	0,027	0,01
50	430	1310	0,018	1,2	140	0,2	182,6	0,72	6,4	0,2	0,053	0,02
75	820	2400	0,035	2,5	320	0,356	230	0,93	15	0,31	0,235	0,044
90	1400	4800	0,06	5,7	605	0,59	302	1,6	28,7	0,77	0,31	0,08
95	2100	6900	0,103	15,7	860	1,0	376	1,8	43	1,1	0,38	0,1
97	2410	7450	0,12	26,3	898	1,2	420	1,98	51	1,2	0,4	0,236

**Таблица 3.** Центильные шкалы для оценки содержания химических элементов в волосах девочек в возрасте от 7 до 11 лет ( $n=136$ , Томская область)

Элементы Центили	Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	Se	Br	La	Sm	Au
3	50	210	0,001	0,08	10	0,002	77	0,01	0,7	0,01	0,002	0,001
5	93	312	0,003	0,2	20	0,009	90	0,03	0,9	0,011	0,0034	0,002
10	105	450	0,005	0,3	26	0,02	107	0,11	1,35	0,013	0,005	0,005
25	260	1420	0,006	0,37	30	0,05	130	0,41	1,9	0,073	0,011	0,0135
50	440	2210	0,02	1,8	147	0,17	183	0,7	3,73	0,18	0,049	0,03
75	700	3700	0,038	4,6	338	0,34	237	0,98	11,3	0,28	0,18	0,052
90	960	5200	0,086	16,5	720	0,79	271	1,5	22,6	0,71	0,25	0,097
95	1500	6400	0,36	25	3650	0,93	301	1,61	31,4	0,88	0,31	0,18
97	1700	7800	0,39	26,8	4790	0,98	395	1,73	36,8	0,92	0,32	0,2

**Таблица 4.** Центильные шкалы для оценки содержания химических элементов в волосах девочек в возрасте от 12 до 18 лет (n=136, Томская область)

Элементы Центили	Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	Se	Br	La	Sm	Au
3	20	400	0,002	0,2	20	0,002	82	0,001	1,0	0,01	0,002	0,002
5	50	500	0,003	0,3	40	0,01	87	0,05	1,09	0,015	0,004	0,003
10	100	700	0,005	0,6	70	0,02	97	0,2	1,2	0,017	0,006	0,008
25	175	2100	0,009	0,9	100	0,052	121	0,3	1,6	0,08	0,007	0,023
50	312	3100	0,011	1,6	110	0,16	173	0,5	2,3	0,16	0,033	0,038
75	515	4650	0,02	3,08	270	0,29	220	0,8	6,8	0,27	0,11	0,074
90	910	6300	0,067	11,9	570	0,58	270	1,2	16,2	0,48	0,24	0,1
95	1100	7400	0,26	21,5	3400	0,84	326	0,42	19,8	0,81	0,27	0,18
97	1300	8500	0,33	24	3770	0,87	338	1,76	38	0,89	0,29	0,25

**Таблица 5.** Центильные шкалы для оценки содержания химических элементов в волосах мальчиков в возрасте от 7 до 18 лет (n=78, Томская область)

Элементы Центили	Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	Se	Br	La	Sm	Au
3	60	200	0,0024	0,2	20	0,002	64	0,01	1,9	0,01	0,002	0,001
5	100	300	0,003	0,24	26	0,004	82	0,05	2	0,026	0,003	0,003
10	200	400	0,004	0,29	34	0,006	95	0,28	2,4	0,051	0,019	0,005
25	380	490	0,009	0,58	40	0,023	130	0,4	5,34	0,08	0,027	0,011
50	520	690	0,022	2,3	166	0,147	172	0,7	10	0,21	0,061	0,025
75	1100	1470	0,047	5,1	435	0,3	211	1,11	19,2	0,46	0,17	0,037
90	1650	2980	0,28	17,5	3200	0,69	240	1,6	33	0,79	0,27	0,071
95	1870	3500	0,32	20	4000	0,88	282	2,09	36,4	0,85	0,32	0,09
97	2200	5030	0,35	22,7	4300	0,96	300	2,3	42	0,93	0,41	0,295

**Таблица 6.** Центильные шкалы для оценки содержания химических элементов в волосах мальчиков 12–18 лет Томской области (n=52)

Элементы Центили	Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	Se	Br	La	Sm	Au
3	20	200	0,002	0,2	20	0,002	76	0,001	2,4	0,009	0,002	0,001
5	150	320	0,0033	0,26	22	0,033	93	0,01	2,6	0,01	0,003	0,003
10	200	400	0,0038	0,29	28	0,04	101	0,05	2,8	0,046	0,008	0,006
25	360	550	0,04	0,3	30	0,09	114	0,37	3,7	0,15	0,014	0,012
50	790	900	0,012	1,1	50	0,106	143	0,6	6,3	0,3	0,048	0,02
75	1050	1210	0,039	3,4	220	0,17	205	0,9	10,7	0,36	0,1	0,033
90	1720	3800	0,08	13,3	440	0,33	230	1,23	24,3	0,78	0,22	0,054
95	2100	4500	0,12	19	2500	0,8	240	1,34	32,8	0,83	0,24	0,087
97	2250	5600	0,33	22	4200	0,9	273	1,58	61	0,85	0,27	0,165

а также ранние и скрытые формы нарушений здоровья с последующей коррекцией выявленных нарушений [13].

Центильный метод широко используется в медицине для оценки физического развития человека, в нашей стране рекомендованный с 70-х годов [7]. Данный метод анализа относится к непараметрическим методам статистики и не смещает оценку показателя в сторону увеличения или снижения, т.к. учитывает все реальности вариационного ряда [19]. Метод центилей запатентован для оценки состояния здоровья детей 1 группы здоровья (исследования проводились на территории г. Владивостока) [13], и широко используется при оценке регионального уровня накопления элементов в составе волос жителей [9, 15, 16].

Вопрос разработки региональных нормативов содержания элементов в волосах жителей на сегодняшний день является весьма важным и актуальным.

Поэтому, нами для территории Томской области разработаны нормативные показатели содержания 12-ти химических элементов у практически здоровых детей для четырех возрастных групп (1–3 лет, 4–6 лет, 7–11 и 12–18 лет) из выборки, включающей 518 практически здоровых детей.

Центильные шкалы содержания были разработаны

только для тех элементов из изученных 29, содержание которых в волосах выше предела определения в более чем 50 % проб. Таким образом, в эту группу вошли Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Se, Br, La, Sm и Au.

Результаты расчета центильных показателей представлены в таблицах 1–6.

Согласно опубликованным данным [15, 16], интервал от 25 до 75 центиля (50 % значений концентраций) соответствует средним значениям концентрации данного элемента в популяции и может быть отнесен к «абсолютной норме».

Значения в интервале между 25 до 10 центиля включительно указывают на сниженный уровень показателя; выше 75 до 90 центиля включительно – на повышенный уровень показателя (табл. 1–6). Интервал между 3-м и 10-м центилями соответствует низкому уровню исследуемого показателя; между 90 и 97 центильными вероятностями – свидетельствует о высоком уровне показателя; до 3-го центиля и выше 97 центиля, соответственно, указывают на очень низкий и очень высокий уровень показателя [13].

Значения, лежащие в интервале от 10 до 25 и от 75 до 90 центиля, предлагается рассматривать как отклонение

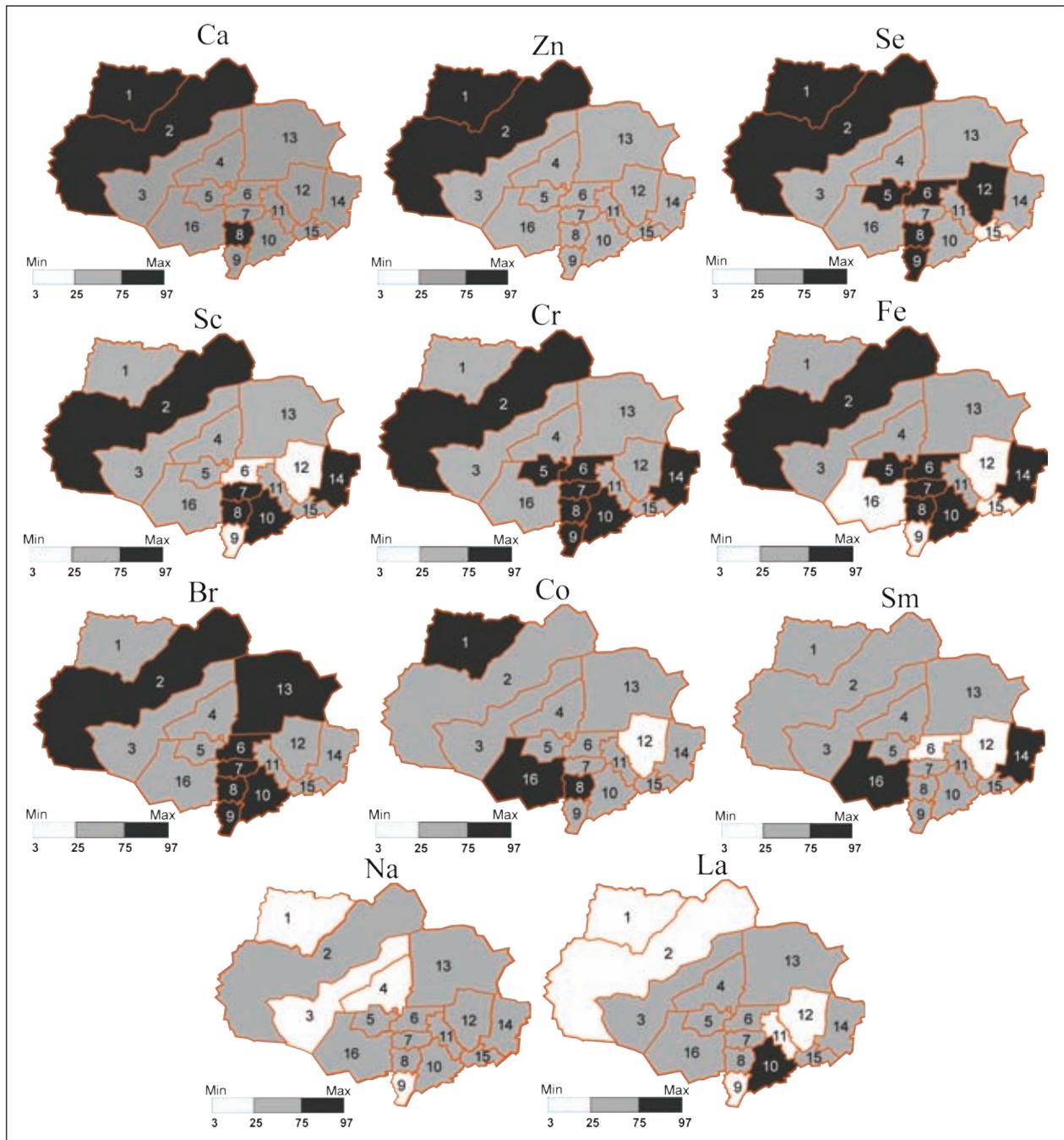
**Таблица 7.** Границы нормального (физиологического) содержания химических элементов в волосах детей, проживающих в Томской области, установленные при помощи анализа центильных интервалов (мг/кг)

Элементы	Граница	Дети		Мал.	Дев	Мал.	Дев
		1–3 года	4–6 лет	7–11 лет		12–18 лет	
Na	H*	290	250	380	260	360	175
	B**	740	820	1 100	700	1 050	515
Ca	H	500	630	490	1 420	550	2 100
	B	1 720	2 400	1 470	3 700	1 210	4 650
Sc	H	0,006	0,007	0,009	0,006	0,004	0,009
	B	0,031	0,035	0,047	0,038	0,039	0,02
Cr	H	0,35	0,3	0,58	0,37	0,3	0,9
	B	4,68	2,5	5,1	4,6	3,4	3,08
Fe	H	40	34	40	30	30	100
	B	360	320	435	338	220	270
Co	H	0,049	0,042	0,023	0,05	0,09	0,052
	B	0,42	0,356	0,3	0,34	0,17	0,29
Zn	H	117	124	130	130	114	121
	B	230	230	211	237	205	220
Se	H	0,51	0,59	0,4	0,41	0,37	0,3
	B	1,28	0,93	1,11	0,98	0,9	0,8
Br	H	4,2	3,9	5,34	1,9	3,7	1,6
	B	21,2	15	19,2	11,3	10,7	6,8
La	H	0,07	0,056	0,08	0,073	0,15	0,08
	B	0,35	0,31	0,46	0,28	0,36	0,27
Sm	H	0,032	0,027	0,09	0,011	0,014	0,007
	B	0,22	0,235	0,59	0,18	0,1	0,11
Au	H	0,007	0,01	0,011	0,014	0,012	0,023
	B	0,044	0,044	0,037	0,052	0,033	0,074

Примечание: \* – нижняя граница: на основе 25 центиля; \*\* – верхняя граница: на основе 75 центиля.

**Таблица 8.** Значения центильных интервалов содержания химических элементов в волосах детей 1–18 лет (мг/кг)

	Центили	Na	Ca	Cr	Fe	Co	Zn	Se
Томская область, n=518 (наши данные)	25	248	700	0,3	30	0,042	123	0,4
	75	805	3450	4,4	332	0,31	225	0,98
Данные по Российской Федерации, n=2 100 [16]	25	75	254	0,26	13	0,02	94	0,65
	75	562	611	0,7	27	0,11	183	2,43



**Рис. 2.** Карты-схемы геоэкологического районирования территории Томской области по содержанию химических элементов в волосах детей, соответствующие центильным интервалам для возраста 1–18 лет (мг/кг). Районы Томской области: 1. Александровский; 2. Каргасокский; 3. Парабельский; 4. Колпашевский; 5. Чаинский; 6. Молчановский; 7. Кривошеинский; 8. Шегарский; 9. Кожвинковский; 10. Томский; 11. Асиновский; 12. Первомайский; 13. Верхнететский; 14. Тегульдетский; 15. Зырянский; 16. Бакcharский

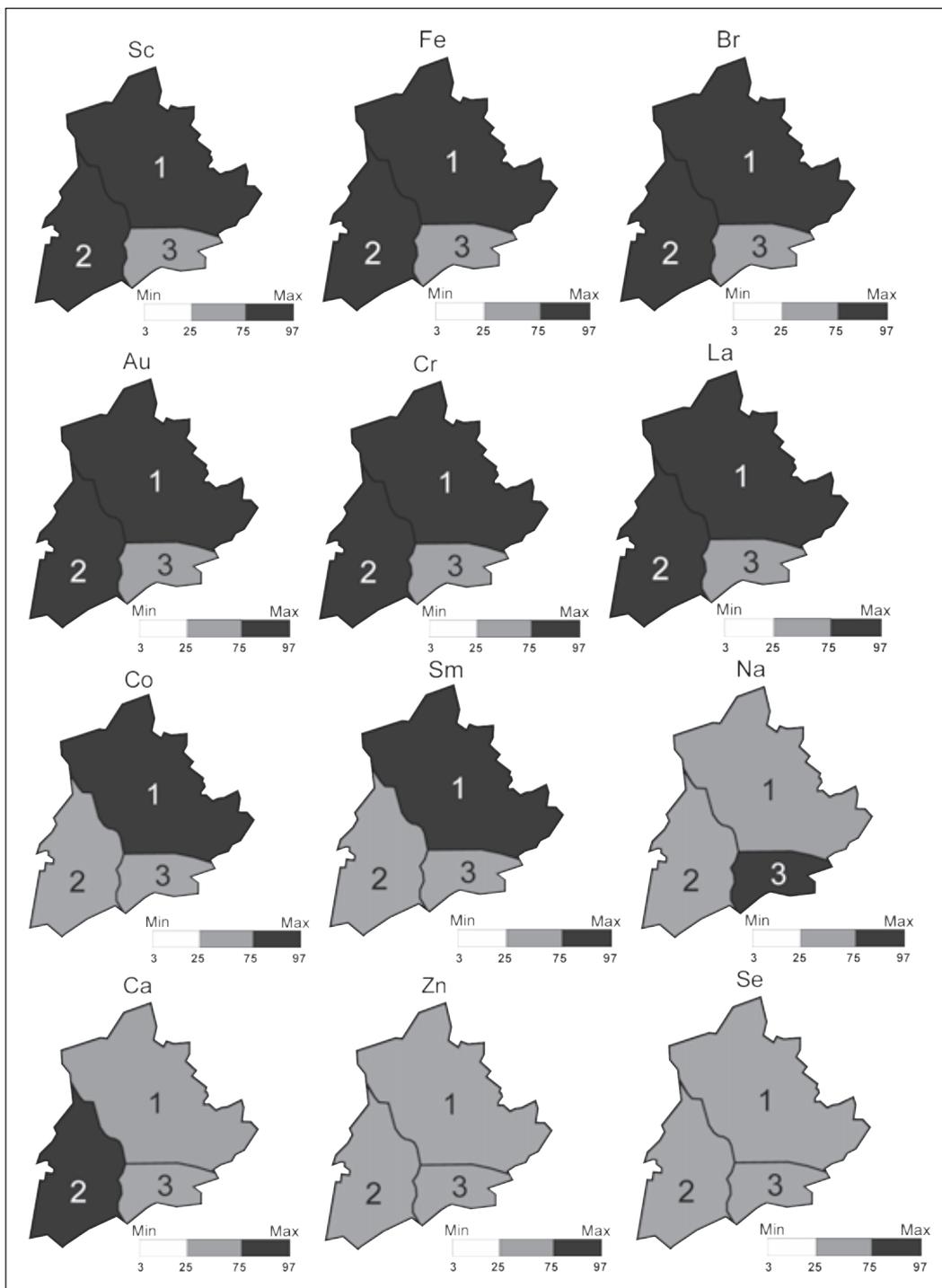
от нормы, интервалы же от 0 до 10 и от 90 до 100 центилей свидетельствуют о состоянии болезни [15].

Микроэлементы называют жизненно необходимыми, если при их отсутствии или недостатке нарушается нормальная жизнедеятельность организма. Данный эффект можно проследить на кривой зависимости «Концентрация элемента в пищевых продуктах – реакция организма» [21]. Характерным признаком необходимого элемента является

колоколообразный вид кривой (рис. 1).

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.

При повышении дозы элемента ответная реакция возрастает и достигает нормы (плато) – область concentra-



**Рис. 3.** Карты-схемы геоэкологического районирования территории Томского района по содержанию химических элементов в волосах детей, соответствующие центильным интервалам для возраста 1–18 лет (мг/кг): 1 – Светленский медицинский округ; 2 – Томский медицинский округ; 3 – Лоскутовский медицинский округ

ций, соответствующих оптимальному росту, здоровью, воспроизведению. При дальнейшем увеличении дозы проявляется токсическое действие избытка данного элемента, в результате чего не исключается и летальный исход. Кривую на рис. 1 можно трактовать так: все должно быть в меру, и очень мало и очень много вредно. Избыток или недостаток в организме отдельных химических элементов или их соединений приводит чаще всего к возникновению патологических состояний [8].

Проведенный анализ полученных центильных интервалов содержания химических элементов в волосах детей, проживающих в Томской области, свидетельствует, что для детей всех возрастных групп характерен значительный дисбаланс элементного гомеостаза, выраженный как в повышении, так и в снижении уровня эссенциальных и токсичных микро- и макроэлементов (табл. 7).

Сравнение центильных показателей в группах детей показало, что практически для всех элементов, за исключением Zn, характерна выраженная возрастная динамика и отличия в содержании элементов в зависимости от пола. На территории Томской области у девочек отмечается повышенное содержание кальция. Та же тенденция наблюдалась С.В. Нотовой с соавт. [11] для г. Сочи и Т.И. Бурцевой [6] для г. Оренбурга.

Для Zn можно говорить о сравнительной поло-возрастной стабильности, обусловленной тем, что цинк необходим для поддержания нормального состояния волос.

По сравнению с референтными значениями, полученными по результатам спектрального анализа (ИСП-АЭС) для детей аналогичного возраста в среднем по РФ, нами выявлены более высокие значения центильных интервалов содержания Na, Ca, Fe, Co, Zn как для нижней, так и для верхней границы нормы (табл. 7). Для хрома значение нижней границы (25 центиль) близко к значениям условно допустимого биологического уровня по А.В. Скальному [16], однако верхняя граница нормального содержания для нашего региона на порядок выше. Здесь может находить отражение более сложная геохимическая обстановка территории Томской области и неравномерное накопление Cr в волосах жителей разных районов. По данным С.В. Нотовой [11], дисбаланс хрома присущ и мужчинам, и женщинам, чаще встречается его повышенное содержание.

Для Se отмечен более низкий уровень в волосах детей по сравнению с референтными значениями.

В литературе рекомендуемые (нормальные) уровни Se указываются в интервале 0,8–5,0 мг/кг [17] и 0,5–1,5 мг/кг [14]. По сравнению с литературными данными, можно сказать, что значения содержания Se в волосах детей в Томской области находятся на нижней границе нормы. Этот факт требует пристального внимания медиков.

Была произведена попытка выявить нарушения в элементном статусе детей на территории районов Томской области. Были построены карты-схемы по средним содержаниям изученных химических элементов в волосах детей в возрасте 1–18 лет в административных районах (рис. 2)

в зависимости от положения полученных фактических данных в центильных интервалах.

В большинстве районов области среднее содержание элементов находится в диапазоне 25–75 центилей, полученных по всей выборке, что соответствует норме. Но в ряде районов отмечены отклонения от нормы, как в большую, так и в меньшую стороны, что может свидетельствовать о нарушениях элементного статуса жителей и быть сигналом для пристального внимания медицинских служб.

Так, в Первомайском районе критически низкий уровень содержания, соответствующий центильному интервалу от 3 до 10, фиксируется сразу для трех элементов – Sc, Fe и Sm. В Кожевниковском районе также установлен низкий уровень содержания для нескольких элементов (Sc, Fe, Co, La), однако, уровень содержания Se здесь очень высокий (рис. 2).

Наиболее сильные отклонения в элементном статусе детского населения, по данным наших исследований, можно констатировать в северных районах Томской области (Александровском и Каргасокском), здесь содержание практически всех элементов не соответствует нормальному диапазону. Томский район выделяется высоким уровнем содержания лантана.

При оценке дисбаланса элементов методом центилей по данным элементного состава волос детей в Томском районе, в пределах которого выделены 3 медицинских округа (по данным Департамента здравоохранения Томской области), было установлено, что в Светленском медицинском округе уровень избыточного накопления элементов (Fe, Br, Au, Sc) свидетельствует о более высоком уровне возможной заболеваемости населения в этом округе (рис. 3).

Это находит подтверждение по данным медицинских наблюдений [18, 20]. Так, для Светлинского медицинского округа характерны такие заболевания, как сахарный диабет, узловой зоб, болезни системы кровообращения, органов дыхания, пищеварения, кожи, мочеполовой системы, также врожденные аномалии и высокая мертворожденность, нео- и перинатальная смертность [20]. Отмечается корреляция с данными О.А. Денисовой и др. [10] по некоторым видам патологии щитовидной железы, к примеру, по диффузному нетоксическому зобу.

Таким образом, в Томской области имеются региональные особенности в элементном гомеостазе условно здоровых детей, связанные, вероятно, в большей степени с эколого-геохимическими факторами среды их постоянного проживания. Эти результаты следует учитывать при массовой медикаментозной профилактике дефицита макро-, микроэлементов широко рекламируемыми поливитаминно-минеральными комплексами («Селен-Актив», «Алфа-Вит», «Антиокс» и др.), поскольку они разработаны без учета региональных особенностей элементного обмена детей, устанавливаемых по результатам изучения химического состава волос детей, являющихся постоянно действующей биологической депонирующей средой.

## Литература

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Жолнин А. В. Общая химия : учебник / под ред. В. А. Попкова, А. В. Жолнина. – 2012. – 400 с.
9. Иванова И.Е. Содержание макро-, микроэлементов в волосах у здоровых детей Чувашской республики / И.Е. Иванова, В.А. Родионов // Здоровоохранение Чувашии, 2011. – №4. – С.44–50.
10. Микроэлементы и патология щитовидной железы в Томской области / О.А. Денисова, Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, Г.Э. Черногорюк, Ю.И. Сухих. – Томск: STT, 2011. – 190 с.
11. Нотова С.В. Взаимосвязь между выраженностью измененный элементного состава волос человека и показателями неспецифической реакции адаптации / С.В. Нотова, А.Т. Быков // Экология человека, 2005. – №6 (Медицинская экология). – С.15–17.
12. 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.
13. 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).
14. 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.
15. 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.
16. Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС (АНО Центр биотической медицины) / А.В. Скальный // Микроэлементы в медицине, 2003. – Т.4. – Вып.1. – С.55–56.
17. Скальный А.В. Медико-экологическая оценка риска гипермикрозлементозов у населения мегаполиса / А.В. Скальный, А.Т. Быков, Е.П. Серебрянский, М.Г. Скальная. – Оренбург, РИК ГОУ ОГУ, 2003. – 134 с.
18. 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.
19. Ушаков А.А. Использование центильного метода статистики в практике научных исследований / А.А. Ушаков // Успехи современного естествознания, 2008. – №5. – С.150–151.
20. 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.
21. Bowen N.J.M. Trace elements in biochemistry / N.J.M. Bowen. – London – New York: Academic Press, 1966. – 241 p.
22. 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.

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЗОЛЫ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

К.С. Павлова

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, [ariecol@mail.gornyu.ru](mailto:ariecol@mail.gornyu.ru)

## ELEMENTAL COMPOSITION OF THE ASH BIRCH LEAVES AS INDICATORS OF RECREATIONAL AREAS OF THE ALTAI REPUBLIC

K.S. Pavlova

Institute of Water and Environmental Problems, Barnaul, [ariecol@mail.gornyu.ru](mailto:ariecol@mail.gornyu.ru)

**Abstract.** There have been a pilot study the elemental composition of the ash birch leaves in the areas of mass recreation in the Katun river in the Altai Republic. Have detected the accumulation of a large association of chemical elements in the ash relative to the background, which is proposed as an ecological state intikatora recreational areas

Несмотря на широкое применение био-геохимических методов при изучении влияния антропогенеза на биотические компоненты окружающей среды, работ по оценке изменения элементного состава растений на объектах рекреации крайне мало.

В 2012 г. автором было проведено пилотное изучение экологического состояния древостоя в водоохранной зоне р. Катунь в ее среднем течении (Майминский и Чемальский административные районы Республики Алтай), выделяемой в качестве Катунского рекреационного района. Последний в настоящее время интенсивно используется при неорганизованном массовом отдыхе (более 200 тысяч человек за сезон) и характеризуется повышенным уровнем рекреационной дигрессии природных комплексов, главным образом, почвенного и растительного покрова.

Объектом исследования являлась береза повислая (*Betula pendula*) – древесный эдикатор преобладающих ландшафтов низких надпойменных террас р. Катунь, представленных березово-сосновыми злаково-разнотравными и папоротниковыми лесами на серых лесных и, в меньшей степени, лугово-черноземных почвах.

Всего на территории Катунского района было изучено 5 типовых участков массовой неорганизованной рекреации (17 деревьев), а также 5 деревьев на смежных контрольных (фоновых) площадках, не затронутых рекреацией. Для каждого дерева определен комплекс физических, морфологических параметров и элементный состав золы их листьев. Последний изучен на 28 элементов методом ИНАА в лаборатории ядерно-геохимических исследований Томского политехнического университета (аналитики А.Ф. Судыко, Л.Ф. Богутская) и полуколичественным спектральным анализом на 30 элементов в СФ «Березовгеология» (аналитик И.Г. Филипчук).

Полученные данные свидетельствуют о заметном ухудшении изученных параметров жизненного состояния древостоя березы на участках рекреации по сравнению с фоновыми площадками. Средние величины их превышения фоновых значений составляют 1,4–2,7 раза, пониженный относительно фона 1,25–1,7 раза (табл. 1).

**Таблица 1.** Показатели состояния березы повислой на рекреационных участках Катунского района

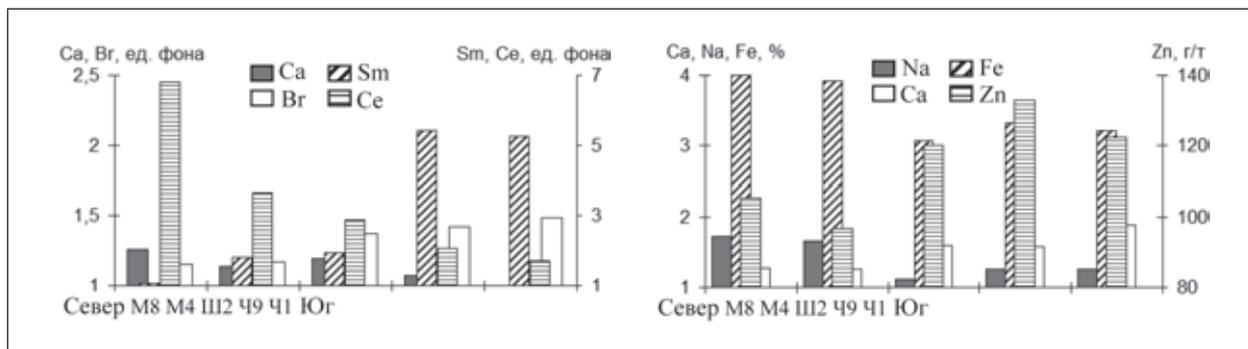
Показатели состояния древостоя	Параметры		
	min-max	$\bar{x}$	$\bar{x}$ , ед. фона
Доля ослабленных деревьев, %	14,3–67,0	47,6	2,7
Градиент температур ствол-почва, град./м	1,7–5,5	3,0	2,4
Средняя влажность ствола, %	11,3–23,5	17,1	0,7
Средняя влажность корней, %	5,5–20,0	11,6	0,7
Радиальный прирост за последние 20 лет, мм/год	1,2–2,3	1,8	0,8
Радиальный прирост за последние 5 лет, мм/год	0,7–2,0	1,4	0,6
Билатеральная асимметрия листовой пластинки	0,04–0,07	0,05	1,4

В частности, древостой на участках рекреации характеризуется значительным увеличением доли ослабленных деревьев с аномально повышенным градиентом разности температур ствола и почвы (до 5,5 фонов). Для них присуще уменьшение влажности ствола и корневой системы деревьев, а также их среднегодового радиального прироста, особенно в последние годы, в условиях трехкратного роста числа рекреантов [1].

Проведенным изучением элементного состава золы листьев березы на участках рекреации и на фоновых площадках выявлены основные особенности распределения химических элементов. Так, предварительно установленные уровни варибельности содержания элементов в целом низкие и слабо повышенные ( $V=30-60\%$ ), кроме золота и иттербия, что свидетельствует о выдержанном характере их распределения в золе.

Средние концентрации большинства изученных элементов в золе листьев березы на участках рекреации на 15–180% (в основном на 30–80%) выше, чем на контрольных площадках (табл. 2). Для небольшой группы элементов (Zn, As, Rb, Cs, Br) проявлено пониженное против фона присутствие в листьях березы с рекреационных территорий.

Небезынтересным представляется поведение природных радиоактивных элементов в золе листьев березы на участках массовой рекреации, на которых содержание то-



**Рис. 1.** Тренды содержания элементов в золе листьев березы (слева) и в почвах на участках рекреации в пределах Катунского района

**Таблица 2.** Содержание химических элементов в золе листьев березы на участках рекреации (n=17)

Парам.	Ca	Na	Fe	Cr	Co	Zn	As	Sb	Ba	Sr	Rb	Cs	Br	La	Ce	Hf	Sm	Lu	Yb	Au
min	2,97	0,024	0,084	1,28	0,66	83	0,00	0,06	114	142	11,2	0,04	2,73	0,41	0,84	0,02	0,06	0,001	0,003	0,001
max	9,18	0,100	0,242	6,07	3,47	981	0,61	0,18	1425	425	78,4	0,62	15,31	1,32	2,98	0,23	0,26	0,021	0,168	0,031
$\bar{X}$	5,29	0,047	0,141	3,67	1,58	427	0,33	0,12	476	232	40,0	0,22	5,39	0,71	1,50	0,10	0,13	0,010	0,049	0,007
V, %	29	44	33	35	47	62	58	35	86	37	49	65	58	37	40	59	44	53	109	165
КК, ед.	1,17	1,15	1,64	1,53	1,86	0,96	0,36	1,53	1,36	1,14	0,78	1,00	0,91	1,83	2,80	1,30	2,19	2,73	2,77	2,09

Примечание: содержание кальция, натрия и железа в весовых %, остальных элементов в г/т.

**Таблица 3.** Содержание и отношение тория и урана в золе листьев березы на участках рекреации

Участки	Торий		Уран		Th/U (для проб)		Th/U (для участков)	
	min-max	$\bar{X}$	min-max	$\bar{X}$	min-max	$\bar{X}$	min-max	$\bar{X}$
Рекреационные (Р)	0,057–0,612	0,207	0,009–0,649	0,158	0,40–11,87	2,95	1,71–5,34	2,74
Контрольные (К)	0,051–0,146	0,107	0,039–0,385	0,181	0,13–2,20	1,04	0,13–2,20	1,04
Р/К, ед.		2,0		0,9		2,8		2,6

рия увеличивается относительно фона в среднем в 2 раза, а урана незначительно уменьшается (табл. 3). Торий-урановое отношение в золе деревьев на контрольных площадках равно единице, а на рекреационных участках оно составляет 1,7–5,3 ед. (в среднем 2,7 ед.), что близко к его среднему для почв района (3,7 ед.). Это предположительно указывает на повышенное участие почвенных растворов в питании растительности, в частности древостоя, на рекреационных территориях.

При сравнении средних концентраций изученных элементов в сопряженных пробах почв и образцах золы на участках рекреации и контрольных площадках (табл. 4) выявлена идентичная вышеотмеченной тенденция накопления большинства элементов в золе листьев березы с рекреационных территорий. Примечательно, что отношения их концентраций в золе к содержанию в почве (аналог коэффициента биологического поглощения), в целом близки к коэффициентам концентрации этих элементов в золе листьев березы на участках рекреации. По-видимому, это обстоятельство указывает на унаследованный от почв спектр и уровень присутствия химических элементов в произрастающем на них древостое, в частности, в изученных листьях березы [2].

На преобладающую роль химического состава почв в формировании биогеохимической специфики растительного покрова указывают также сопряженные пространственные изменения уровня присутствия ряда макро- и микроэлементов в этих природных средах на территории Катунского рекреационного района. Так, при движении вверх по р. Катунь в направлении к южному флангу этого района (рис. 1) проявлены закономерные тренды присутствия в почвах таких породообразующих элементов как натрий и железо (уменьшение), кальций (увеличение), объясняемые постепенной сменой в этом направлении климатической и ландшафтно-геохимической обстановки (аридизация климата,

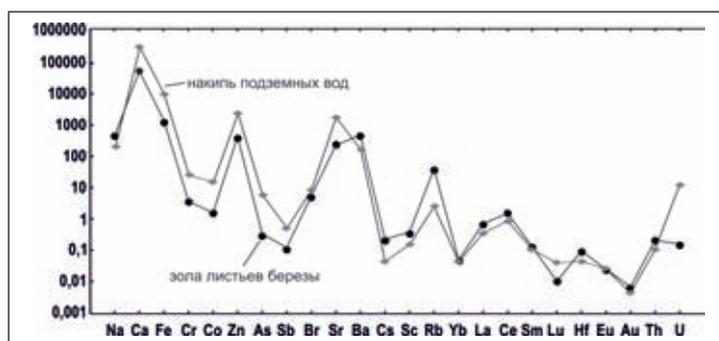
усиление карбонатообразования в почвах и др.).

Такие же выдержанные тренды проявлены для распределения на территории района ряда химических элементов в золе листьев березы, что свидетельствует как о сопряженности пространственных изменений уровней их присутствия в почвах и в произрастающих на них растениях, так и об унаследованном от почв элементном составе последних.

Анализ корреляционных связей между параметрами жизненного состояния березы и элементным составом золы ее листьев показал заметное в 1,8–3 раза превышение числа их значимых связей на рекреационных участках по сравнению с фоном, а также большое различие ассоциаций тесно связанных между собой элементов (табл. 5). Можно предполагать, что негативное экологическое состояние почв на этих участках способствует формированию

**Таблица 4.** Отношение средних концентраций элементов в золе листьев березы и в почвах (ед.)

Участки	Ca	Na	Fe	Cr	Zn
Рекреационные (Р)	8,35	0,037	0,040	0,029	5,30
Контрольные (К)	4,00	0,036	0,027	0,022	6,52
Р/К, ед.	2,09	1,07	1,48	1,29	0,81



**Рис. 2.** Среднее содержание элементов в золе листьев березы и накопления грунтовых вод на участках рекреации

**Таблица 5.** Связи морфологических параметров и элементного состава золы листьев березы

Участки	Число значимых связей между:			Ассоциативный ряд элементов (по убыванию средней величины связей)
	параметрами	элементами*	всего	
Рекреационные (Р)	9	32	41	Fe, Au–Sr, Rb, La–Sm–Ca, Zn–Th, Yb–Cr, Ba–Br, Cs
Контрольные (К)	3	18	21	Rb, Sc–Cr–Fe–As, Br–Na, Cs, La–Sb, Au–Co
Р/К, ед.	3,0	1,8	2,0	

Примечание: \* – при уровне значимости 99%.

адекватной, но более сильной комплементарной реакции растительного покрова, в том числе древостоя, на стрессовый рекреационный фактор.

В пользу такого предположения свидетельствует наличие значимых связей между содержанием отдельных химических элементов в золе листьев березы и физическими свойствами почв рекреационных участков (твердость, плотность сложения, влажность, пористость). По характеру этих связей и величине коэффициентов концентрации в золе изученные химические элементы можно условно объединить в две группы, основная из которых представлена элементами, накапливающимися в листьях березы на участках рекреации (Ca, Na, Fe, Cr, Ba, Th, РЗЭ и др.). Для более малочисленной ассоциации элементов (Zn, Rb, Cs, As, Br, U) проявлены противоположные биогеохимические особенности поведения, в частности, рассеивание в листьях на участках рекреации.

Проведенным сравнением элементного состава золы листьев березы и накипи грунтовых вод на участках рекреации Катунского района предварительно установлен их относительно близкий характер (рис. 2). Подобная тесная сопряженность спектра и степени концентрированности изученных элементов в столь различных природно-техногенных образованиях, по мнению автора, говорит как об общности источника химических элементов (грунтовые воды), так и о технологически близком (термическом) способе получения этих субстанций, представляющих по своей сути сухой остаток водного и органического вещества.

### Литература

1. Павлова К.С., Робертус Ю.В., Кивацкая А.В., Шевченко Г.А. Новые данные о состоянии древостоя на территории Катунского рекреационного района (Республика Алтай) // Природные ресурсы Горного Алтая, 2012. – №1–2. – С. 119–121.

Следует отметить, что для накипи, более «достоверно» передающей особенности солевого состава грунтовых вод, присущи более высокие концентрации большинства макро- и микроэлементов, но величина этого превышения примерно постоянна – в 5–7 раз (рис. 2), что указывает на сопряженный характер поступления элементов в накипь (у деревьев – в листья при восходящем сокодвижении почвенных растворов).

### Предварительные выводы

В листьях березы на участках неорганизованного отдыха накапливается большая ассоциация поступающих с почвенными растворами макро- и микроэлементов, спектр и уровни концентрации которых относительно фона могут быть использованы как индикаторы экологического состояния рекреационных территорий.

Полученные результаты позволяют считать, что значительного поступления макро- и микроэлементов со стороны отдыхающих и их транспортных средств в почвы рекреационных территорий не происходит, а имеет место «обогащение» этими элементами более «агрессивных» почвенных растворов (в условиях нарушенного водообмена) и их трансляция в растения.

Элементный состав золы листьев березы и накипи грунтовых вод на участках рекреации близки между собой, что также может быть использовано для целей индикации экологической обстановки.

2. Павлова К.С., Робертус Ю.В., Кивацкая А.В. Характер изменения свойств и состава почв рекреационных территорий (на примере Катунского района Республики Алтай) // Мир науки, культуры и образования, 2013. – №1(38). – С. 338–342.

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ МАТОВ МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Т.А. Перминова, Е.В. Денисова

Томский политехнический университет, Томск, Россия, *TatianaP1991@yandex.ru*

### ELEMENTAL COMPOSITION OF MATS OF MINERAL SPRINGS IN THE BAIKAL RIFT AREA

T.A. Perminova, E.V. Denisova

Tomsky Polytechnic University, Tomsk, Russia, *TatianaP1991@yandex.ru*

**Abstract.** *The Baikal rift area is characterized by a rich variety of mineral springs. The research of microbial communities has been started quite recently, but there is a lot of information showing the important role of microbial communities of hot springs in the evolution of life in the Precambrian [1].*

*The complex studies in thermal springs have shown that severe environmental conditions (high temperature, alkaline pH and high sulfide content) contribute to the development of specific microbial communities, having significant biodiversity and high intensity of biogeochemical processes, comparable to the microbial communities of neutral thermal spring. The main feature of these communities is the formation of microbial mats.*

*The mats are biocoenosis composed of prokaryotes and located at the bottom of ponds or in the shore area. The shape of mats is the most similar to films of mould. The ancient bacterial mats were the only biocoenosis on the Earth. Currently, bacterial mats are the most common in hot springs.*

*A mat is a thick multi-layer "carpet" with a total thickness up to 2 cm, its base is palmelloid or filamentous cyanobacteria. Besides, a wide variety of microorganisms is involved in forming the community. Several functionally discrete layers can be easily distinguished inside the mat.*

*Thus, the mat is a highly integrated community with a highly complex organized structure of food, two top layers are composed of producers and consumers of the first order ("plants" and "herbivore") combined in a food chain such as pasture, and the lower layer is formed by decomposers ("carrion-eaters") getting the organic material from the upper layers of detrital chain. Moreover, measurements have shown that the mat is virtually one of the most balanced ecosystems: it produces as much organic matter and oxygen as it is necessary for life (zero balance).*

*In addition, B.B. Namsaraev et al (2011), A.V. Tatarinov et al (2005) believe that the bacterial mats are actively involved in the formation of travertine (tuff). Travertine is a carbonate rock formed by sedimentation of carbonate Ca, Mg, Fe, Na, sometimes with silica and clay minerals from thermal or cold carbonated spring. Besides, A.M. Plyusnin et al (2000), Rikhvanov et al (2012) paid attention to the role of the bacterial factor in the formation of travertine.*

*The objective of this study is to identify geochemical features of different springs in the Baikal rift area. Thus, the mat samples were taken in some springs of the Baikal region in the summer of 2012: the spring of Arshan (Tunka), the mineral spring "Kulin swamps", Zhemchugskoe methane deposit, the iron spring of Khongor-Uula and etc.*

*The chemical composition was determined by multi-element neutron activation analysis in nuclear and geochemical laboratory of the Department of Geocology and Geochemistry of National Research Tomsk Polytechnic University, functioning on the basis of the research nuclear reactor (analytics are Sudyko A.F, Bogutskaya L.N.).*

Байкальская рифтовая зона отличается богатым разнообразием минеральных источников. Исследования микробных сообществ начаты сравнительно недавно, но уже появился большой массив данных, свидетельствующий о их важной роли. Особенностью таких сообществ является формирование микробных матов [1].

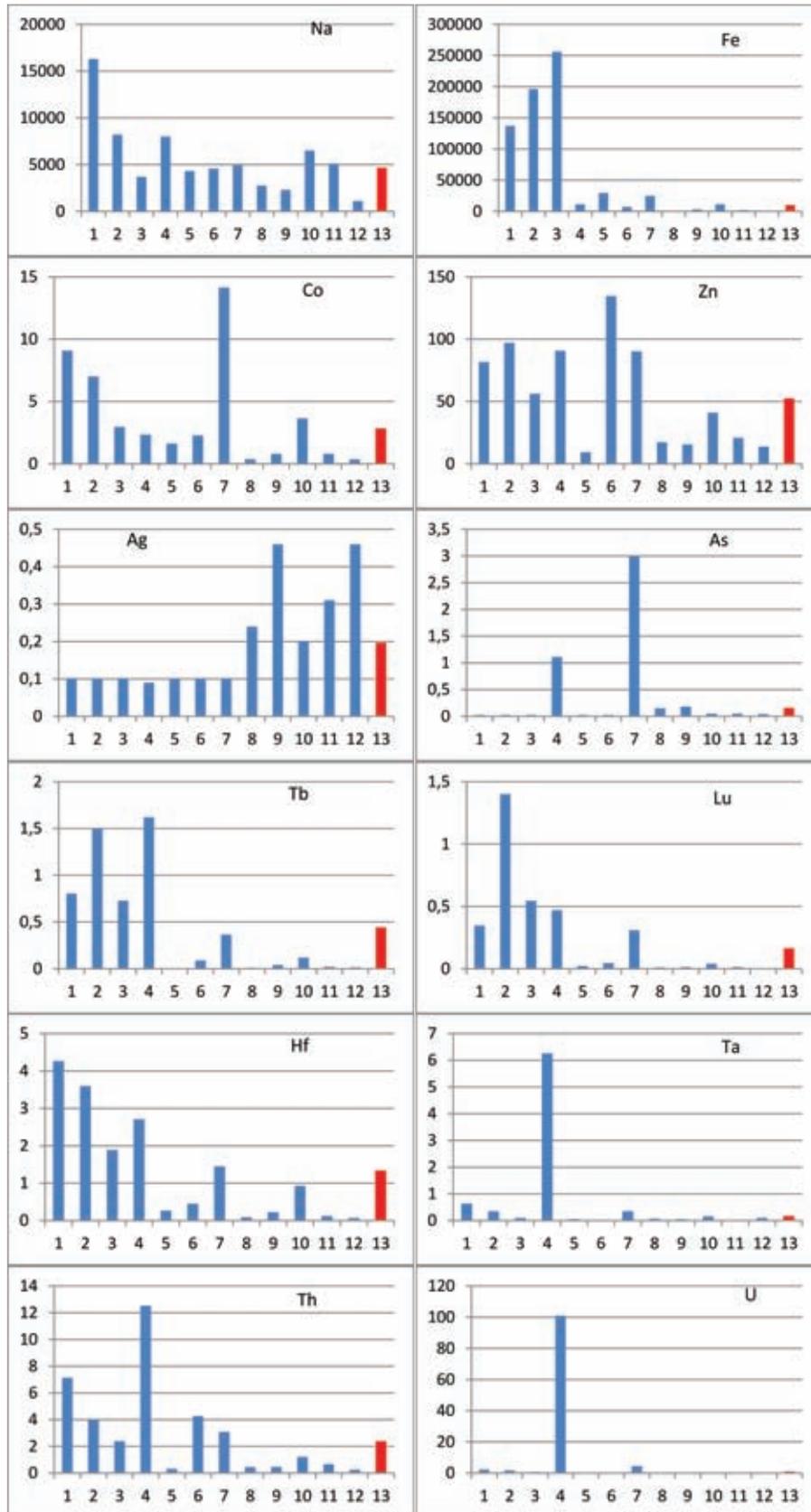
Маты – биоценозы, состоящие из прокариот и располагающиеся на дне водоемов или в их прибрежной зоне. По форме наиболее похожи на плёнки плесени. Древние бактериальные маты являлись единственными биоценозами на Земле [6].

Мат представляет собой плотный многослойный «ковёр» общей толщиной до 2 см; основу его составляют нитчатые либо пальмеллоидные цианобактерии, однако помимо них в формировании сообщества участвует множество самых различных микроорганизмов. Внутри мата легко различимы несколько функционально дискретных слоев.

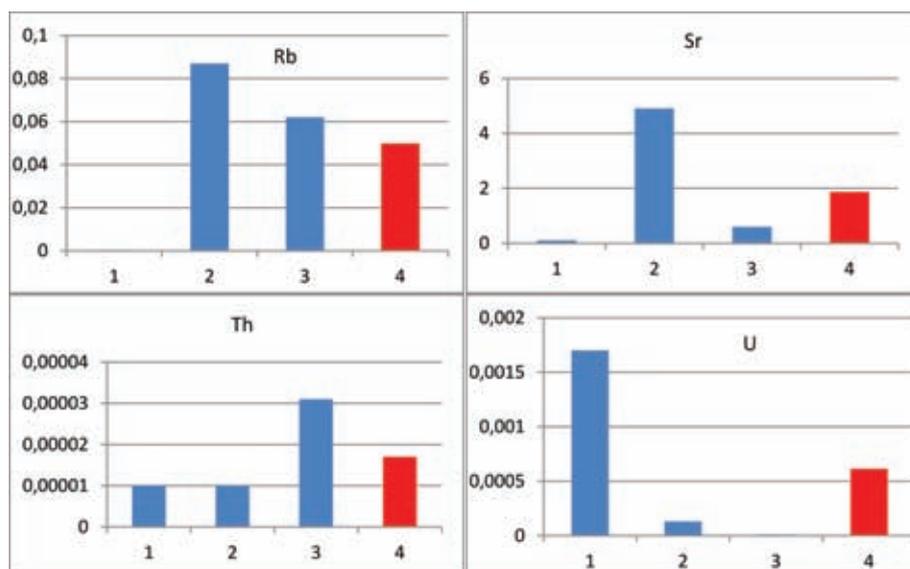
Мат является высоко интегрированным сообществом с чрезвычайно сложно организованной трофической струк-

турой, два верхних слоя составлены продуцентами и консументами первого порядка («растениями» и «травоядными»), соединенными в пищевую цепь пастбищного типа, а нижний слой сформирован редуцентами («падальщиками»), получающими органику из верхних слоев по детритной цепи. Более того, измерения показали, что мат является вообще одной из самых сбалансированных экосистем: он производит ровно столько органики и кислорода, сколько тут же расходует в процессе своей жизнедеятельности (нулевой баланс). Можно сказать, что в мате «ничто не пропадает» – даже энергия солнечного света (в рамках суммарного КПД фотосинтеза, составляющего около 10%). Более того, поскольку солнечный спектр меняется в течение дня («покраснение» Солнца на восходе и закате), для улучшения использования энергии в мате происходят упорядоченные вертикальные миграции – смена горизонтов, занимаемых бактериями с разными типами пигментов.

Все это позволяет сделать следующий вывод: уровень интеграции, достигнутый составляющими мат микроорганиз-



**Рис. 1.** Содержание химических элементов в микробиологических сообществах различных минеральных источников; 1–12 источники: 1 – Общеукрепляющий (железистые источники Хонгор-Уула); 2 – Желудочный (железистые источники Хонгор-Уула); 3 – Глазной (железистые источники Хонгор-Уула); 4 – ручей Арангатуй (место впадения в озеро); 5 – ручей Арангатуй (верховье ручья); 6 – метановый источник Жемчугского месторождения термальных вод; 7 – содовым источником Жемчугского месторождения термальных вод; 8, 9, 10, 11, 12 – источник Кулиные болота; 13 – среднее значение в матах по всей выборке



**Рис. 2.** Содержание химических элементов в воде различных минеральных источников; 1–3 источники: 1 – ручей Арангатуй (верховье ручья); 2 – метановый источник Жемчугского месторождения термальных вод; 3 – источник Кулиные болота (соответствует пробе №12 матов); 4 – среднее значение по выборке для вод данного региона

низмами, превосходит уровень, наблюдаемый в обычных экосистемах, и как минимум не уступает тому, что наблюдается у лишайников [6].

Кроме того, Б.Б. Намсараев и др. (2011), А.В. Татаринев и др. (2005) считают, что бактериальные маты принимают активное участие в формировании травертинов (известковый туф). Это карбонатная порода, образовавшаяся в результате осаждения карбонатов Ca, Mg, Fe, Na, иногда с кремнеземом и глинистыми минералами из термальных или холодных углекислых источников. На роль бактериального фактора в формировании травертинов обращали внимание А.М. Плюснин и др. (2000), Рихванов и др. (2012).

Летом 2012 года были отобраны пробы матов в различных минеральных источниках Байкальской рифтовой зоны. После предварительной подготовки они были отправлены на многоэлементный нейтронно-активационный анализ в ядерно-геохимическую лабораторию кафедры геоэкологии и геохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета, функционирующей на базе исследовательского ядерного реактора (ИРТ-Т ТПУ) (аналитики – с.н.с. Судыко А.Ф. и Богутская Л.Н.) для определения химического состава. Также с помощью анализа ICP-MS был определен микроэлементный состав проб воды верховья источника Арангатуй (проба №5), метанового источника Жемчуг (проба №6), источника Кулиные болота (проба №12).

Результаты анализа по некоторым элементам представлены в виде гистограмм (рисунок 1), в мг/кг.

Общеукрепляющий, Желудочный, Глазной источники имеют высокие содержания железа, что резко отличает их от других изученных источников. И это легко объяснить, т.к. они являются железистыми по своей природе [1]. Общеукрепляющий источник характеризуется высокими содержаниями Na, Sc, Cr, Co, Zn, Br, Rb, Ba, Hf, Th. Кроме того, отдельно можно выделить высокие концентрации редких

земель (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb). Желудочный источник характеризуется значительным содержанием Na, Sc, Cr, Co, Zn, Br, Rb, Sb, Ba, Hf, Th, La, Ce, Nd, Sm, Tb. Чрезвычайно высокие содержания следующих редких земель: Eu, Yb, Lu. Глазной источник имеет повышенные концентрации Zn, Br, Rb, Ce, Nd, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf. По сравнению с другими источниками своей группы, «Глазной» источник характеризуется не столь многочисленным спектром повышенных содержаний элементов.

Ручей Арангатуй в месте впадения в озеро, имеет содержания выше среднего по следующим элементам: Na, Cr, Zn, As, Br, Rb, Eu, Yb, Lu, Hf. Чрезвычайно высокие концентрации Sc, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Tb, а также сильно радиоактивных элементов: Th, U. В верховье ручья наблюдаются повышенные концентрации Ca, Ba, Fe, Sr в матах и U в воде.

Метановый источник Жемчуг характеризуется высокими концентрациями в матах и в воде по щелочноземельным элементам Ca, Ba, Sr. Отмечены высокие концентрации Zn, Br, Au, Th в матах и Na, Cs, Rb, Fe, Cr в воде.

Содовый источник имеет высокие содержания Ca, Sc, Cr, Zn, Br, Sb, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, Th. Очень высокая концентрация Au, Co, As.

Точки отбора матов на источнике Кулиные болота не характеризуются чрезвычайно широким спектром элементов с повышенным содержанием. Повышенные концентрации наблюдаются только по таким элементам как Ag, Cs, Rb, Sb в разных местах отбора проб матов на данном источнике. В воде превышены средние значения по элементам Rb, Zn, Th, La.

Следует обратить внимание на наличие во всех точках, кроме 10 высокого содержания серебра.

Представленные точки характеризуются абсолютно разными значениями, которые варьируются в широких пределах. Столь разнообразный диапазон значений объ-

ясняется, прежде всего, геологическим строением территории, на которой расположен тот или иной минеральный

источник.

### Литература

1. Намсараев Б.Б., Бархутова Д.Д., Данилова Э.В. и др. Геохимическая деятельность микроорганизмов гидротерм Байкальской рифтовой зоны. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2011. – 302 с.
2. Намсараев Б.Б., Хахинов В.В., Гармаев Е.Ж., Бархутова Д.Д., Намсараев З.Б., Плюснин А.М. Водные системы Баргузинской котловины. – Улан-Удэ: Изд-во Бурят, гос. ун-та, 2007. – 159 с.
3. Плюснин А.М., Суздальницкий А.П., Адушинов А.А., Мионов А.Г. Особенности формирования травертинов из углекислых и азотных термальных вод в зоне Байкальского рифта // Геология и геофизика, 2000. – Т.41. – №4. – С.564–570.
4. Рихванов Л.П., Тайсаев Т.Т., Барановская Н.В., Соктоев Б.Р., Монголина Т.А., Судыко А.Ф., Ильенок С.С. Геохимические особенности травертинов различных регионов и их прогнозное значение / Современные проблемы геохимии: Материалы Всероссийского совещания (с участием иностранных ученых). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2012. – Т.1. – С.233–236.
5. Татаринов А.В., Яловик Л.И., Намсараев З.Б., Плюснин А.М., Константинова К.К., Жмодик С.М. Роль бактериальных матов в петрогенезисе и образовании рудных минералов травертинов азотных гидротерм Байкальской рифтовой зоны // Доклады АН, 2005. – Т.403. – №5. – С.678–681.
6. URL: <http://www.medbiol.ru/medbiol/lifehist/0008b3c8.htm#000db3fc.htm> (дата обращения 10.10.2011).

## НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В БИОСРЕДАХ И МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СТАТУС НАСЕЛЕНИЯ КАК ИНДИКАТОРЫ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

А.И. Погромская

ТОО «ЭКОСЕРВИС-С», Казахстан, Алматы, [pogromskaya.anel@gmail.com](mailto:pogromskaya.anel@gmail.com)

## ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN HUMAN BIOLOGICAL MATERIAL AND MICROELEMENT STATUS OF POPULATION AS AN INDICATOR OF INDUSTRIAL POLLUTION OF REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

A.I. Pogromskaya

LP «EKOSERVICE-C», Kazakhstan, Almaty, [pogromskaya.anel@gmail.com](mailto:pogromskaya.anel@gmail.com)

**Abstract.** This article synthesizes various author's researches on the estimation of accumulation of heavy metals in human biological material of Republic of Kazakhstan (by example of the large industrial cities).

Изучение накопления тяжелых металлов в биосредах человека в настоящее время является одной из важнейших проблем науки и имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение.

По биогеохимической теории академика В.И. Вернадского (концепция «атомных вихрей»), в результате биогенной миграции атомов практически все элементы внешней среды в большей или меньшей степени поступают во внутреннюю среду организма человека, что определяет его отклик на изменения химического состава среды обитания. Избыточное и недостаточное, содержание металлов в среде способствует формированию микроэлементного дисбаланса, дефициту одних и избытку других металлов в биологических средах организма. В связи с этим, содержание тяжёлых металлов в биосредах человека является информативным индикатором для оценки степени загрязнения внешней среды.

С развитием химической и металлургической промышленности, с увеличением интенсивности движения автотранспорта возросло накопление тяжелых металлов в окружающей среде Республики Казахстан, что привело к возникновению биогеохимических провинций [10] – Южный Казахстан (г. Шымкент), Восточный Казахстан (г. Усть-Каменогорск), Западный Казахстан (г. Актюбинск). В

вышеперечисленных регионах функционируют крупные металлургические предприятия: АО «Южнополиметалл» в г. Шымкенте, Усть-Каменогорский металлургический комплекс АО «Казцинк», АО «Актюбинский завод хромовых соединений», АО «ТНК-Казхром».

Алматы – крупная городская агломерация, где с каждым годом количество автотранспорта растет, а следовательно, растет и содержание в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов. Климатогеографические особенности города препятствуют рассеиванию загрязняющих веществ, что приводит к формированию высоких концентраций загрязнителей в приземном слое атмосферы.

Город Павлодар – многопрофильный промышленный центр, где кроме автотранспорта отрицательное воздействие на окружающую среду оказывают топливно-энергетическая и цветная промышленности.

### Регион свинцовой промышленности

Из вышеперечисленных городов наиболее неблагоприятная обстановка сложилась в г. Шымкенте, где в течение более полувека работа свинцового комбината сопровождалась массивным поступлением данного токсичного элемента в атмосферный воздух, который с пылевыми

частицами оседал на почве, поступал в растения. Сейчас ситуация кардинально изменилась – выбросы в атмосферный воздух от предприятия существенно снизились, но «свинцовая» проблема осталась. Это обусловлено интенсивным загрязнением почвенного покрова, который сам теперь является источником поступления металла в сопредельные среды и организм человека [6, 9].

В конце 90-х-начале 2000-х в Республике Казахстан с участием американских специалистов проводились комплексное исследование по оценке риска влияния свинцового загрязнения на здоровье детей дошкольного возраста. Было установлено, что 20,7 % обследованных детей имело содержание свинца в крови выше нормы. Минимальная доля детей с повышенным уровнем свинца в крови имела место в г. Павлодаре (4 %), максимальная – в Шымкенте (65 %). Были выделены зоны с чрезвычайно высоким уровнем содержания свинца в почве. Например, в почвенном покрове на территории детских дошкольных учреждений города Шымкента содержание свинца в почве достигало показателя 24 900 мг/кг при действующем казахстанском нормативе 32 мг/кг [11].

По результатам исследований, проведенных в 2008–2009 годах, уровень свинца, превышающий 10 мкг/дл, был выявлен у 82 % обследованных детей в г. Шымкенте, причем у двух детей содержание свинца в крови достигало значения 65 мкг/дл, что 6,5 раз превышает нормативный уровень. Средний показатель содержания свинца в крови составил 19,45 мкг/дл [6].

### Регион цветной металлургии (свинцово-цинковой, титано-мгниевой)

Согласно исследованию, проведенному Н.А. Яковлевой в г. Усть-Каменогорске в 2004–2005 гг., установлено превышение нормативного уровня содержания токсических металлов в волосах детей. Выявлено, что на фоне хронического поступления свинца в организм детей наблюдается дефицит эссенциальных элементов – цинка и кобальта. Минимальный уровень содержания цинка в волосах равен 24,07 мкг/г, что в 4,2 раза меньше нижней границы допустимого уровня. Минимальный показатель содержания кобальта равен 0,006 мкг/г, что в 8 раз меньше нижней границы условного нормативного уровня [12]. Установлено незначительное отклонение от нормативного уровня содержания эссенциальных элементов – меди, кобальта, цинка.

Выявленные особенности формирования микроэлементного статуса во многом определены антропогенным воздействием на окружающую среду предприятий цветной металлургии, в выбросах которых содержатся тяжелые металлы и другие компоненты.

### Регион хромовой промышленности

На территории Актюбинской области сформировалось несколько зон природно-техногенного загрязнения различного характера. В частности, в районе г. Хромтау, где расположено одно из крупнейших в мире месторождений

**Таблица 1.** Сравнительная характеристика содержания металлов в волосах детей региона хромовой промышленности (в мкг/г) [8]

Элемент	Фоновый уровень	Хромтау	Алга	Актобе
Медь	6,3±0,34	7,9±0,21	8,6±0,30	9,7±0,54
Железо	14,2±1,20	23,8±1,47*	27,1±0,64	63,7±1,99
Цинк	90,3±10,8	19,8±0,40*	47,5±2,1	24,2±2,6
Марганец	0,63±0,12	8,9±0,13*	2,1±0,2	4,3±0,17
Хром	0,9±0,15	4,7±0,3*	1,7±0,08	2,8±0,2
Никель	0,15±0,05	2,8±0,13*	2,4±0,12	3,9±0,43
Свинец	1,9±0,03	1,5±0,03	2,8±0,07	1,8±0,1
Кадмий	0,0013±0,0002	0,001±0,0007	0	0,002±0,001

Примечание: \* –  $p < 0,05$  различия достоверны.

**Таблица 2.** Содержание тяжелых металлов в крови детского населения городов Актюбинской области (в мг/л) [8]

Элемент	Нормативы Дж. Эмсли, 1993	Хромтау	Актобе	Алга
Cr	0,058	0,29±0,03	0,23±0,01	0,12±0,012*
Mn	0,038	0,097±0,007	0,078±0,006	0,059±0,006*
Cu	1,01	0,84±0,29	1,02±0,43	1,2±0,31*
Co	0,02	0,009±0,002	0,012±0,001	0,007±0,002
Fe	44,7	48,5±10,0	96,76±7,4*	142,0±13,4*
Ni	0,03	0,06±0,007	0,09±0,003	0,02±0,009*
Pb	0,21	0,07±0,005	0,17±0,002*	0,09±0,003
Cd	0,0052	0	0	0
Zn	7,0	3,0±0,35	3,1±0,12	3,9±0,08*

Примечание: \* – различия достоверны с показателями первого (р1 в 2–4 раза ( $p < 0,001$ )).

**Таблица 3.** Средние уровни содержания элементов в пробах волос детей, посещающих ДДУ 8 и ДДУ 30 г. Актобе (в мкг/г) [13]

Элементы	ДДУ №8			ДДУ №30		
	M±m	MAX	MIN	M±m	MAX	MIN
Cd	0,082±0,01	0,433	0,003	0,089±0,01	0,312	0,012
Cr	1,033±0,05	2,684	0,3	0,879±0,05	2,096	0,247
Cu	9,915±0,45	24,834	4,226	9,293±0,57	38,029	6,538
Fe	39,572±4,48	235,7	11,99	38,156±4,46	257,0	15,56
Mn	1,163±0,11	5,512	0,232	1,077±0,11	5,135	0,355
Ni	0,311±0,03	1,432	0,064	0,393±0,04	2,033	0,068
Pb	2,884±0,25	11,562	0,114	2,849±0,23	8,567	0,368
Zn	101,932±7,58	318,0	8,0	110,541±6,69	323,0	24,0

**Таблица 4.** Содержание тяжелых металлов в волосах школьников г. Алматы (мкг/г) [4]

Возраст	Число проб	Тяжелые металлы, (M±m)			
		свинец	никель	медь	цинк
13 лет	70	12,0±1,40	15,0±1,80	29,4±2,50	191,5±4,50
14 лет	49	13,0±1,60	16,1±1,93	33,3±1,90	203,7±15,50
15 лет	80	13,5±1,55	16,6±1,76	35,7±2,30	209,1±3,50
Пределы БДУ в волосах (мкг/г)		5,0 мкг/г	1,17 мкг/г	11,1 мкг/г	135,8 мкг/г

хромитовых руд; район г. Алга, где ранее работал химический завод по производству удобрений (сейчас территория завода, ввиду значительного количества накопленных отходов и высокого уровня загрязнения, может быть рассмотрена как самостоятельный источник загрязнения окружающей среды) и Актобе – административный центр области, где сконцентрированы предприятия хромперерабатывающей промышленности.

Согласно исследованиям А.А. Мамырбаева по оценке уровня содержания металлов в крови и волосах детей, проживающих в городах Актыбинской области, установлено, что в Хромтау, Алга и Актобе наиболее высокое содержание в биосредах имеют хром, никель и марганец (таблицы 1, 2). При этом в Хромтау отмечен низкий уровень железа, цинка и меди, по остальным химическим элементам достоверных различий не выявлено [8].

В исследованиях Г.Н. Кисмановой и Р.Е. Нурғалиевой была представлена оценка накопления хрома, бора, железа и йода в волосах детей 7–12 лет, проживающих в городе Актобе [7].

Согласно результатам исследований Н.А. Яковлевой, в волосах детей, посещавших детский сад, находившийся в г. Актобе в зоне влияния хромперерабатывающего предприятия, были обнаружены более высокие концентрации хрома, чем в волосах детей из относительно чистой зоны (таблица 3) [13]. Наряду с повышенным содержанием хрома наблюдался дефицит ряда эссенциальных элементов, в первую очередь меди, цинка. Проведенное исследование Н.А. Яковлевой позволило впервые получить максимально полную картину микроэлементного статуса детей дошкольного возраста г. Актобе.

#### Крупнейший административный центр Республики Казахстан (г. Алматы)

По данным Илиясова А.Д. с соавторами в г. Алматы в волосах детей выявлены превышения по свинцу, никелю, меди, цинку (таблица 4) [4].

Из данной таблицы видно, что среднее содержание никеля, свинца меди и цинка в волосах школьников было высоким во всех возрастных группах. Причем с увеличением возраста содержание тяжелых металлов в волосах детей возрастает. Так как никель имеет самый низкий биологически допустимый уровень (1,17 мкг/г БДУ), по сравнению с другими металлами, превышение установленного регламента по никелю составляет в среднем 15 раз, по свинцу и меди – в 2,5 раза, по цинку – в 1,5 раза [1, 4]. Изученные химические элементы в волосах школьников, в основном, являются компонентами выхлопных газов, а выхлопные газы автомашин составляют более 90 % всех антропогенных загрязнений воздуха г. Алматы [3].

Представляют интерес результаты изучения содержания свинца в крови детей дошкольного возраста города Алматы, проведенные в 90-х годах группой исследователей [2]. Согласно полученным ими результатам, содержание свинца в крови детей дошкольного возраста в среднем составило 4 мкг/дл (рекомендуемый ВОЗ допустимый уровень – 10 мкг/дл).

#### Промышленный центр в Северном Казахстане – г. Павлодар (топливно-энергетическая промышленность, цветная металлургия)

Согласно результатам исследований, проведенных Корогод Н.П., в г. Павлодаре установлено повышенное содержание в волосах детей скандия 0,01±0,0004, цин-

ка  $196 \pm 8$ , рублия  $2,2 \pm 0,1$ , иттербия  $0,03 \pm 0,001$ , селена  $0,72 \pm 0,03$ , бария  $12,2 \pm 0,7$ , тория  $0,01 \pm 0,0003$  [5]. Накопление тяжелых металлов в волосах детей г. Павлодара авторы объясняют загрязнением окружающей среды выбросами предприятий цветной и топливно-энергетической промышленности.

Анализ гигиенической обстановки на территориях, подверженных различным типам техногенеза, показал, что тяжелые металлы формируют существенную нагрузку на окружающую среду.

Несмотря на имеющиеся в Казахстане исследования по оценке накопления тяжелых металлов в биосредах и формированию микроэлементного статуса организма, данный вопрос требует более подробного изучения, а также внимания к данной проблеме со стороны государства.

Подобные исследования важны не только для индика-

ции техногенного загрязнения окружающей среды Республики Казахстан, но и для эффективного определения влияния тяжелых металлов на организм человека с привязкой уровня загрязнения к уровню заболеваемости в регионах, что позволит разработать со стороны органов здравоохранения, защиты окружающей среды эффективные мероприятия по решению проблем загрязнения окружающей среды, борьбе с высоким уровнем заболеваемости. Такого рода исследования должны проводиться с определенной периодичностью (как минимум 1 раз в год), что поможет отследить динамику микроэлементного статуса населения в зависимости от промышленной активности объектов, а также в зависимости от сезонов. Данные исследования должны проводиться совместно с органами здравоохранения с расширением задач исследования от экологических до медицинских.

## Литература

1. Агаджанян Н.А., А.В. Скальный *Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека*. – М.: КМК, 2001, – 83 с.
2. Белоног А., Онищенко Г., Слажнева Т., Корчевский А. *Научные основы управления гигиеническими факторами общественного здоровья*. – Алматы, 2003. – С.209.
3. Досмухаметов А.Т. *Гигиеническая оценка автомобильного транспорта, как фактора экологического риска современного города (на примере г. Алматы)*. // Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. мед. наук, Каз. нац. мед.ун-т им. С.Д. Асфендиярова. – Алматы, 2008. – 27 с.
4. Илиясова А.Д., Кусаинова Ж.Ж., Суханберлиева Д.И., Жуматаева Г.Н., Досмухаметов А.Т. *Влияние загрязнения атмосферного воздуха на содержание тяжелых металлов в волосах школьников г. Алматы, Казахский Национальный медицинский университет имени С.Д. Асфендиярова*. – Алматы. – С.39–40.
5. Корогод Н. П. *Оценка качества урбозокосистемы в условиях г. Павлодара по данным элементного состава волос детей, автореферат*. – Томск, 2010. – 24 с.
6. Корчевский А.А., Яковлева Н.А., Мартынова В.И., Избакиев А.М., Идаятов П.Б. *Оценка загрязнения окружающей среды Республики Казахстан свинцом, разработка подходов к снижению экологических рисков. Материалы VI Международная научно-практическая конференция «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде»*. – Семей, Казахстан 2010. – Т.2. – С.230–233.
7. Кисманова Г.Н., Нурғалиева Р.Е. *Кумулятивная способность волос как проявление адаптации*. // Медицинский журнал Зап.Казахстана, 2006. – №4(12). – С.35–37.
8. Мамырбаев А.А., Бекмухамбетов Е.Ж., Засорин Б.В., Кибатаев К.М. *Содержание металлов в волосах и крови детского населения городов Актюбинской области. Гигиена и санитария*. – Актюбинск, 2012. – №3. – С.61–62.
9. Самакова А., Белоног А, Ибрагимов А., Брагин А., Корчевский А. *Научные концепции управления безопасностью в социально-экологических системах*. – Санкт-Петербург, 2004. – 205 с.
10. Скальный А.В. *Химические элементы в физиологии и экологии человека*. – Москва, 2004. – С.13–18.
11. Тулебаев Р., Слажнева Т., Кенесариев У., Белоног А., Корчевский А. *Оценка гигиенических рисков в промышленных регионах Республики Казахстан*. – Алматы: Искандер, 2004. – 374 с.
12. Яковлева Н.А. *Оценка микроэлементного статуса населения как важнейшая гигиеническая проблема. Социальные, медицинские и инженерные вопросы экологической безопасности населения. Труды Сибирского конгресса по экологии с международным участием*. – Омск, 2006. – С.172–176.
13. Яковлева Н.А. *Оценка микроэлементного статуса детей в хромовой биогеохимической провинции. Здоровье и болезнь*, 2008. – №2(68). – С.43–47.

## УРОВЕНЬ СОДЕРЖАНИЯ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ (Na, Ca) В ЗОЛЕ ЛИСТЬЕВ ПОЛЫНИ ГОРЬКОЙ *Artemisia absinthium*

З.М. Темешева, Б.Ж. Алибекова

Павлодарский государственный педагогический институт, Казахстан, г. Павлодар

## LEVEL OF THE MAINTENANCE OF MACRO ELEMENTS (Na, Ca) IN ASHES OF LEAVES *Artemisia absinthium*

Z.M. Temesheva, B.Zh. Alibekova

Pavlodar State Pedagogical Institute, Kazakhstan, Pavlodar

**Abstract.** *Settling down the territory of Pavlodar and the Pavlodar region, according to average presence of macro elements (Na, Ca) in elevated part of Artemisia absinthium showed that level of the maintenance of elements in the city of Pavlodar exceeds indicators in area.*

### Актуальность темы

В растениях содержание кальция составляет в среднем 0,3% (по массе). Кальций необходим растениям главным образом для правильного развития листьев. Бесхлорофильные цветковые растения содержат кальция гораздо меньше, чем зеленые растения. С возрастом количество кальция в растениях постепенно увеличивается, особенно резко наблюдается это в листьях [6].

В надземной части полыни горькой *Artemisia absinthium* содержится: золы – 7,40%; макроэлементов (мг/г): Na – 35,10 (мг/г), Ca – 10,20 (мг/г) [1].

Из обзора литературных данных известно, что дефицит кальция проявляется уже в молодых растениях. Кальций перемещается в растении медленно и концентрируется в корнях у взрослых растений. Именно поэтому в начальный период роста недостаток этого вещества проявляется очень четко.

Признаками дефицита кальция являются: увядание листа, края листа и новые побеги приобретают коричневый цвет и умирают [9]. Серьезный дефицит кальция может уничтожить все новые побеги и остановить рост растения, вызвать мутацию листьев. Кальций является очень важным веществом в росте клетки и важным ее компонентом. Он действует как агент между клетками и увеличивает подвижность отрицательно заряженных ионов типа нитрата, сульфата, бората и молибдена. Если этого вещества слишком много во время начального роста, рост растения сильно замедляется. В других же фазах роста, избыток кальция создает проблемы по усваиванию магния и калия растением [7].

Кальций распространяется с помощью воды, развивая ткани растения. Если же его концентрация становится

мала в корневой системе, то это может повлиять на темпы развития растения не зависимо от его возраста. Поскольку кальций неподвижен, он не может быть легко перемещен в область активного роста растения и образования новых побегов и завязей. Таким образом, дефицит кальция может вызвать серьезное отставание в темпах развития растений.

Щелочноземельный металл, кальций важен для подвижности большинства макро и микро элементов и ответственен за рост и образование новых клеток. Данный элемент является главным элементом стенок клетки и выполняет важную функцию во время формирования корневой системы, образования листьев, производства семян, пыльцы, прорастания, деления клетки и цветочной зрелости [3].

Щелочной металл, натрий регулирует транспорт углеводов в растении. Хорошая обеспеченность растений натрием повышает их зимостойкость. При его недостатке замедляется образование хлорофилла.

Недостаток натрия у растений приводит к хлорозу и некрозам, а также тормозит развитие. Благоприятное влияние оказывает натрий на рост сахарной свеклы и многих других корнеплодов [4].

Однако, с переизбытком содержания натрия в почве связано чрезмерное засоление последней. В зависимости от преимущественного накопления отдельных солей натрия засоление может быть сульфатным, хлоридным, содовым или смешанным. Действие засоления на растительные организмы связано с двумя причинами: ухудшением водного баланса и токсическим влиянием высоких концентраций солей.

Содержание натрия в растениях – 52 моль/т, 0,02%

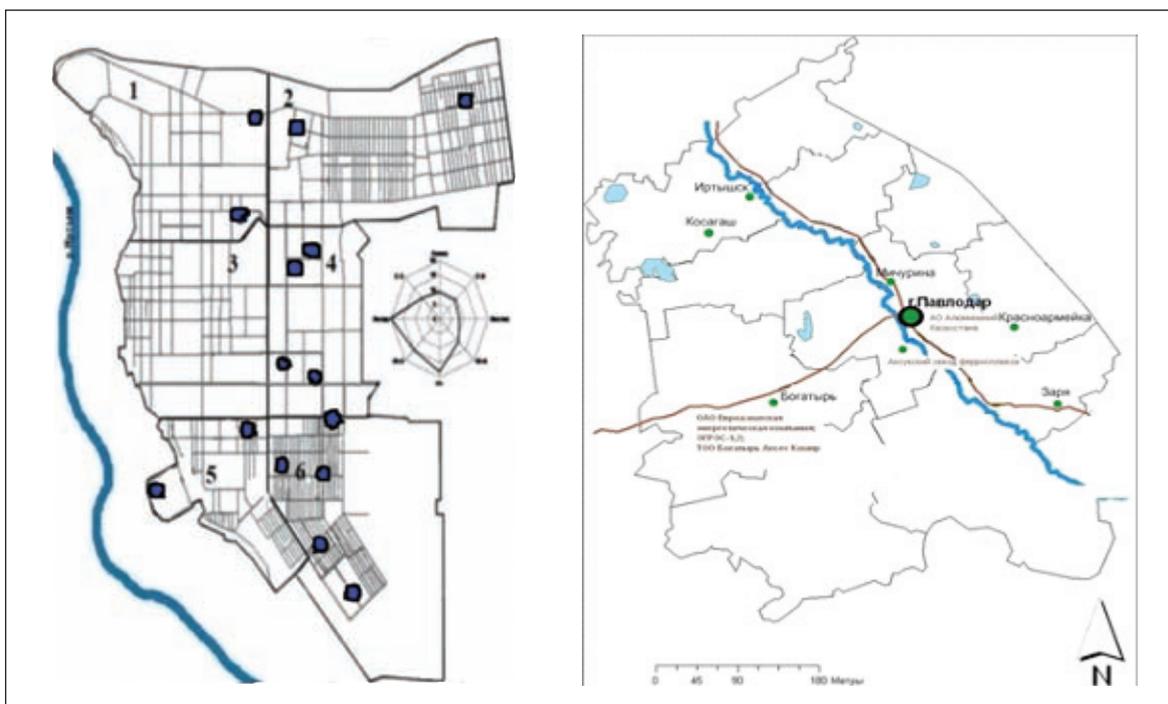


Рис. 1. Карты отбора проб листьев полыни горькой (*Artemisia absinthium*) на территории г. Павлодара (слева), Павлодарской области

**Таблица 1.** Содержание кальция в золе полыни горькой на территории Павлодарской области

№	Населенный пункт	Ср.знач. (мг/кг)
1	с. Мичурино	4,82
2	с. Богатырь	4,50
3	с. Заря	2,12
4	с. Красноармейка	4,47
5	с. Павлодарское	6,41
6	с. Кенжеколь	5,68
7	с. Иртышск	5,69
8	с. Харьковка	3,79
9	с. Косагаш	6,77
Ср.знач. (мг/г)		4,92

(по массе), в животных – 174 моль/т. Натрий относится к элементам, которые условно необходимы растениям. Имеется ряд ферментов, которые активируются натрием, но значительно в меньшей мере, чем калием. Одни растения могут усваивать значительные количества натрия, другие обладают весьма малой способностью к его поглощению. Кроме того, у натриефобных растений поступление натрия из корня в надземные органы ограничено (например, у бобов) [5]. Данный элемент важен для транспорта веществ через мембраны и входит в так называемый натрий-калиевый насос ( $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ) [8].

Цель данной работы – оценка содержания кальция и натрия (Na, Ca) в надземной части полыни горькой (*Artemisia absinthium*) на территории г. Павлодара и Павлодарской области.

Объекты исследования: *Artemisia absinthium* L. – полынь горькая.

Для химического анализа был использован метод ИНАА. Пробоподготовку и химический анализ проводили на кафедре Геохимии и геоэкологии Томского политехнического университета. Полученные данные обрабатывали с использованием стандартных программ MS Excel XP.

**Таблица 3.** Содержание натрия в золе полыни горькой на территории Павлодарской области (мг/кг)

№	Населенный пункт	Ср.знач.
1	с. Мичурино	0,411
2	с. Богатырь	0,256
3	с. Заря	0,152
4	с. Красноармейка	372,8
5	с. Павлодарское	0,277
6	с. Кенжеколь	0,500
7	с. Иртышск	0,288
8	с. Харьковка	0,102
9	с. Косагаш	0,305
Средние показатели		41,70

**Таблица 2.** Содержание кальция в золе листьев полыни горькой на территории г. Павлодар (мг/кг)

№	Участок	max	min	Ср.знач.
1	северо-западный	1211	0,403	605,7
2	северо-восточный	0,942	0,564	0,753
3	западный	0,888	–	–
4	восточный	0,967	0,127	3,094
5	юго-западный	0,731	–	–
6	юго-восточный	0,788	0,219	3,004
Средние показатели		202,55	0,32	153,1

Место отбора проб: по Павлодарской области: села Богатырь, Заря, Иртышск, Кенжеколь, Косагаш, Красноармейка, Мичурино и Харьковка (рис. 1).

Отбор проб по городу Павлодару произвели в 15 точках. Территория города была условно разделена на 6 участков: северо-западный, северо-восточный, западный, восточный, юго-восточный (рис. 1).

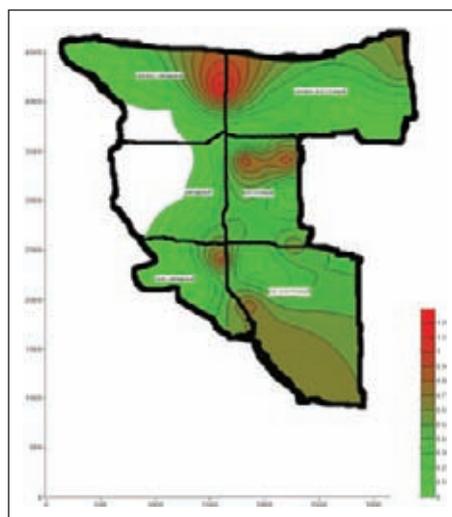
### Результаты собственных исследований

Полученные данные из 9 населенных пунктов Павлодарской области показали, что максимальное количество кальция (6,77мг/кг) – в золе полыни из с. Косагаш. Минимальное количество данного элемента – в образцах из села Заря (табл. 1).

Таким образом, наибольшее содержание кальция в золе полыни горькой проявляется в с. Косагаш – 6,77 мг/кг, что превышает в 3 раза показатели из села Заря, который составляет – 2,12мг/кг.

Для сравнительного анализа накопления кальция на территории г. Павлодара был произведен отбор проб из 15 точек города (рис. 1, табл. 2).

При проведении исследований девяти населенных пунктов в Павлодарской области было выявлено, что среднее содержание натрия в золе полыни горькой составляет: 41,70 мг/кг (табл. 3). Наибольшее содержание натрия в по-



**Рис. 2.** Карта-схема распределения натрия в золе полыни горькой на территории г. Павлодар

лыни горькой установлено для с. Красноармейка – 372,8 мг/кг, а наименьшее содержание отмечено в с. Харьковка – 0,102 мг/кг.

Таким образом, минимальное значение содержания натрия на территории г. Павлодара отмечено для участка №4 (восточный) – 0,127 мг/кг, а максимальное содержание – для участка №1 (северо-западный) – 1211 мг/кг (рис. 2). Среднее значение содержания натрия по г. Павлодару со-

ставляет 153,1 мг/г.

Выводы: накопление натрия в полыни горькой (*Artemisia absinthium*), проявилось в большей степени в районе северо-западного участка г. Павлодара. В сравнительном плане среднее значение элементных показателей в городской среде превышает данные по Павлодарской области. Показатели по накоплению кальция в золе полыни горькой с территории города превышает в 31 раз.

### Литература

1. <http://medicinal.ucoz.ru>.
2. Губанов И.А. и др. 1271. *Artemisia absinthium* L. – Полынь горькая // Иллюстрированный определитель растений Средней России. В 3 т. – М.: Т-во науч. изд. КМК, Ин-т технологий. иссл., 2004. – Т.3. – Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). – С.335. – ISBN 5-87317-163-7.
3. Дубченко Л.Г., Козьяков А.С., Кривенко В.В. / Сытник К.М. Пряно-ароматические и пряно-вкусовые растения. – К.: Наукова думка, 1989. – 304 с. – (Справочник). – 100 000 экз. – ISBN 5-12-000483-0.
4. Коновалова Е.Ю. 2005–2013 гг. автор сайта. – <http://www.pharmacognosy.com.ua/>.
5. Чупахина, Г.Н. Система аскорбиновой кислоты растений: Монография. – Калининград: Калининград. ун-т, 1997. – 120 с.
6. Энциклопедический словарь Ф.А. Брокгауза и И.А. Ефрона.
7. [kvetky.net](http://kvetky.net) © 2009–2013. – Все права защищены. Автор Надежда Гальнская.
8. Copyright © 2013. – Все права защищены. – [www.newecologist.ru](http://www.newecologist.ru).
9. Copyright © 2010–2011.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕНОСА ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ ТРОФИЧЕСКИХ СЕТЕЙ р. ЕНИСЕЙ

Е.А. Трофимова, Т.А. Зотина, А.Я. Болсуновский

Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия, [e.trofimova11@yandex.ru](mailto:e.trofimova11@yandex.ru)

## ASSESSMENT OF THE ARTIFICIAL RADIONUCLIDES TRANSFER EFFICACY BETWEEN COMPONENTS OF TROPHIC CHAINS OF THE YENISEI RIVER

E.A. Trofimova, T.A. Zotina, A.Ya. Bolsunovsky

Institute of Biophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation

**Abstract.** Artificial radionuclides were registered in all components of trophic chains (macrophytes, zoobenthos, non-predatory (grayling, dace) and predatory (pike) fish species) from the radioactively contaminated part of the Yenisei River. Efficacy of the transfer of artificial radionuclides in components of trophic chains was estimated. The differences in the trophic transfer factor (TF) of natural and artificial radionuclides between the components of different trophic levels were revealed. The most effective transfer was recorded for  $^{137}\text{Cs}$  in pike (muscles and total body) from dace and grayling (TF=1,7–7,4).

В результате многолетней работы Горно-химического комбината (ГХК) Росатома река Енисей загрязнена техногенными радионуклидами, которые зарегистрированы во всех компонентах экосистемы, включая биоту [4, 8, 9, 11]. Между компонентами трофических сетей происходит постоянный перенос вещества, следовательно, возможна миграция радионуклидов от одного трофического уровня к другому. Ихтиофауна является ключевым звеном, связывающим речные трофические сети с человеком и, следовательно, потенциальным переносчиком техногенных радионуклидов к населению. В данной работе оценивались коэффициенты переноса (КП) радионуклидов между звеньями трофических сетей на основе удельных активностей радионуклидов в биомассе биоты, обитающей в зоне радиационного загрязнения реки р. Енисей.

Пробы гидробионтов р. Енисей отбирали на участке, расположенном на расстоянии 5–20 км от ГХК, в период с

2009 по 2011 гг. Из ихтиофауны для исследования использовали щуку (*Esox lucius* L.), как представителя хищных рыб, а также рыб-бентофагов ельца (*Leuciscus baicalensis* Dyb.) и хариуса (*Thymallus arcticus* P.). Для одной пробы было использовано по 10–52 экз. ельцов, 6–10 экз. хариусов и 1–3 экз. щуки. Биологические показатели рыб определяли стандартными методами [2]. Полная длина одной особи хариуса составляла 181–295 мм, ельца – 142–206 мм, щуки – 310–509 мм. Сырая масса хариуса составляла 42–348 г, ельца – 36–93 г, щуки – 199–1054 г. Возраст хариусов составлял 2+, ельцов – 3+, щуки – 2+–4+ г. Из представителей зообентоса использовали бокоплавов (*Philolimnogammarus viridis* Dyb. и *Ph. cyaneus* Dyb.), которые являются одним из основных компонентов в спектре питания хариуса [5]. Из представителей макрофитов использовали водный мох (*Fontinalis antipyretica* Hedw).

Подготовка проб биоты для измерения в них содержа-

ния радионуклидов осуществлялась как описано нами ранее [4, 7, 11]. Активность радионуклидов в пробах измеряли на гамма-спектрометре со сверхчистым германиевым детектором (Canberra, США). Значения активности корректировали на дату отбора проб. Удельные активности радионуклидов в пробах приведены в Бк/кг сырой массы.

Во всех пробах биоты зарегистрирован природный радионуклид  $^{40}\text{K}$ , который имел наибольшую удельную активность, по сравнению с техногенными гамма-излучающими радионуклидами. Так же в пробах гидробионтов были зарегистрированы как относительно короткоживущие изотопы техногенного происхождения  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{46}\text{Sc}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{239}\text{Np}$ , так и относительно долгоживущие изотопы  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{152}\text{Eu}$ . В биомассе водного мха перечень техногенных радионуклидов был самым большим. В пробах бочоплавок регистрировались радиоактивные изотопы  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{152}\text{Eu}$ . В телах и мышцах всех видов рыб зарегистрированы  $^{65}\text{Zn}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Также в пробах тел хариусов был зарегистрирован  $^{85}\text{Sr}$ , а в телах ельца  $^{60}\text{Co}$ . Удельная активность  $^{40}\text{K}$  в мышцах всех видов рыб, была выше, чем в целых телах, а активность  $^{137}\text{Cs}$  в мышцах превышала таковую в телах только у щуки.

В пробах гидробионтов отобранных в период после остановки реакторного производства на ГХК, которая произошла в апреле 2010 г. наблюдалось снижение активности некоторых техногенных радионуклидов. В частности, наблюдается снижение активности  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$  и  $^{65}\text{Zn}$  в биомассе мха осенью 2010–2011 г., по сравнению с аналогичным периодом 2009 г., и отсутствие достоверных значений  $^{65}\text{Zn}$  в пробах 2011 г.

На основе удельных активностей в сырой биомассе гидробионтов были рассчитаны коэффициенты перехода радионуклидов (КП) из пищевых объектов в тела консументов в известных трофических парах. КП превышающие единицу свидетельствуют о возможности накопления радионуклида в биомассе консумента.

Бочоплавы питаются эпифитными микроорганизмами, населяющими мох, а так же биомассой самого мха, что было показано с помощью жирнокислотных маркеров [10]. В этой трофической паре величины КП техногенных радионуклидов  $^{60}\text{Co}$  и  $^{152}\text{Eu}$ , и природного  $^{40}\text{K}$  не достигали единицы (рис. 1). Величины КП  $^{65}\text{Zn}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в тела бочоплавок составляли 2,6–10,8 и 1,2–1,4 соответственно. Следовательно, эффективный трофический перенос из биомассы мха в тела бочоплавок возможен лишь для  $^{65}\text{Zn}$  и  $^{137}\text{Cs}$ .

Эффективность переноса радионуклидов из биомассы бочоплавок в тела и мышцы рыб-бентофагов была рассчитана для проб, отобранных в осенний период, когда бочоплав доминирует в спектре питания хариуса [5]. Значения КП  $^{40}\text{K}$  в тела рыб-бентофагов из биомассы бочоплава составляли от 2 до 5, в мышцы хариуса и ельца – от 2,7 до 6 (рис. 2). Величины КП техногенных радионуклидов ( $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) из биомассы бочоплава в тела и мышцы хариусов

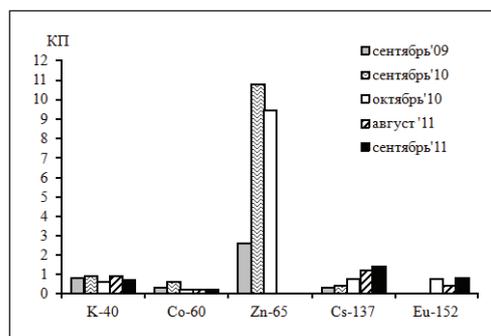


Рис. 1. Коэффициенты перехода радионуклидов в биомассу бочоплавок из водного мха, рассчитанные для проб, отобранных в р. Енисей в августе-октябре 2009–2011 гг.

и ельцов были меньше единицы, находясь в диапазоне 0,06–0,6 для  $^{65}\text{Zn}$  и 0,07–0,7 для  $^{137}\text{Cs}$ . Следовательно, между трофическими уровнями зообентос – рыбы-бентофаги (тела и мышцы) возможен эффективный перенос только природного изотопа  $^{40}\text{K}$ , что согласуется с данными, полученными для стабильного калия [1]. Эффективного переноса техногенных изотопов  $^{65}\text{Zn}$  и  $^{137}\text{Cs}$  между данными трофическими уровнями не происходит.

Значения КП  $^{40}\text{K}$  в трофических парах рыбы-бентофаги (тела) – щука (тело и мышцы) варьировали от 0,7 до 1,3 (рис. 3). Величины КП  $^{65}\text{Zn}$  в тело щуки составляли 0,4–1,4 (рис. 3а). Величины КП  $^{137}\text{Cs}$  в мышцы щуки из тел ельцов и хариусов составили 2,1–7,4, а в тела щуки – 1,7–7 (рис. 3). На основе полученных результатов можно говорить о накоплении  $^{137}\text{Cs}$  в терминальном звене трофических сетей р. Енисей – рыбах-ихтиофагах (щуке). Полученные

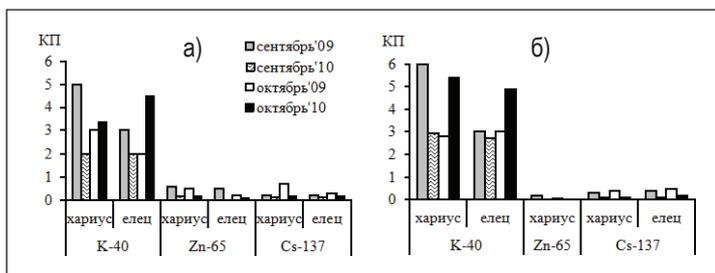


Рис. 2. Коэффициенты перехода радионуклидов в тела (а) и мышцы (б) хариуса и ельца из биомассы бочоплавок, и рассчитанные для проб, отобранных в р. Енисей в сентябре и октябре 2009–2010 гг.

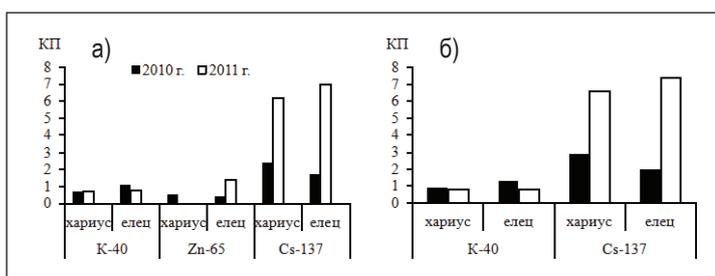


Рис. 3. Коэффициенты перехода радионуклидов из тел хариуса и ельца в тело (а) и мышцы (б) щуки, рассчитанные для проб, отобранных в р. Енисей в мае 2010 и 2011 гг.

данные свидетельствуют о явлении биомагнификации  $^{137}\text{Cs}$  в трофических сетях р. Енисей, что было неоднократно за-

регистровано для других водоемов, в частности для водоемов Чернобыльской зоны [3, 6].

### Литература

1. Анищенко О.В., Гладышев М.И., Кравчук Е.С., Сущик Н.Н., Грибовская И.В. Распределение и миграция металлов в трофических цепях экосистемы реки Енисей в районе г. – Красноярск. Водные ресурсы, 2009. – №36(5). – С.623–632.
2. Вышегородцев А.А., Скопцова Г.Н., Чупров С.М., Зувев И.В. Практикум по ихтиологии. – Краснояр. гос. ун-т., Красноярск, 2002. – 127 с.
3. Зарубин О.Л., Малюк И.А., Костюк В.А. Особенности содержания  $^{137}\text{Cs}$  у различных видов рыб Каневского водохранилища на современном этапе. // Гидробиол. журнал, 2009. – №45(5). – С.110–116.
4. Зотина Т.А., Трофимова Е.А., Болсуновский А.Я. Радионуклиды в хариусе сибирском на радиационно-загрязненном участке среднего течения р. Енисей. // Радиационная биология. Радиозкология, 2012. – №52(3). – С.305–311.
5. Зувев И.В., Семенова Е.М., Шулепина С.П., Резник К.А., Трофимова Е.А., Шадрин Е.Н., Зотина Т.А. Питание хариуса *Tuttallus sp.* в среднем течении р. Енисей. // J. Sib. Fed. Uni. Biol., 2011. – №4(3). – С.281–292.
6. Рябов И.Н. Радиозкология рыб водоемов в зоне влияния аварии на чернобыльской АЭС. – М: товарищество научных изданий КМК, 2004. – 215 с.
7. Трофимова Е.А., Зотина Т.А., Болсуновский А.Я. Оценка переноса техногенных радионуклидов в трофических сетях реки Енисей. // Сиб. экол. журн., 2012. – №4. – С.497–504.
8. Bolsunovsky A. Artificial radionuclides in sediment of the Yenisei River. // Chemistry and Ecology, 2010. – №26(10). – P.401–409.
9. Bolsunovsky A., Bondareva L. Actinides and other radionuclides in sediments and submerged plants of the Yenisei River. // J. Alloy. Compd., 2007. – P.444–445: 495–499.
10. Kalacheva G.S., Gladyshev M.I., Suschik N.N., Makhutova O.N. Water moss as a food item of the zoobenthos in the Yenisei River. // Cent. Eur. J. Biol., 2011. – №6(2). – P.236–245.
11. Zotina T.A., Trofimova E.A., Bolsunovsky A.Ya. Artificial radionuclides in fish fauna of the Yenisei River in the vicinity of the Mining-and-Chemical Combine (Siberia, Russia). – Radioprotection, 2011. – №46(6). – P.75–78.

## РТУТЬ В ПРЭСНОВОДНЫХ ГИДРОБИОНТАХ

О.Ю. Федюшина

Тюменский государственный университет

### MERCURY IN FRESHWATER HYDROBIONTS

O.Yu. Fedyushina

Tyumen State University

**Abstract.** Entering the water bodies, mercury has an extremely toxic effect on biota, accumulated in the bottom sediments. The highest content of mercury in the sediments was found in the mouths of rivers. With the participation of microorganisms metallic mercury can be methylated in a two-stages:  $\text{Hg} \rightarrow \text{CH}_3\text{Hg}^+ \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ .

Fish and shellfish that live in the river accumulate methylmercury concentrations that is dangerous to person using them as food.

99% of the world caught fish contain mercury in amount of not more than 0,5 mg/kg, and 95% – less than 0,3 mg/kg. Almost all of the mercury in fish is represented in the form of methyl mercury.

Methyl mercury is present in all organisms of the water and sediment enters the human body and destroys the brain, leading to Minamata disease. In Russia mercury content is determined only by the total. Medical-biological requirements of mercury in freshwater predatory fish may be 0,6 mg/kg, in the sea – 0,4 mg/kg, no predatory freshwater only 0,3 mg/kg, and tuna to 0,7 mg/kg. in canned fish, in other – 0,01 mg/kg, the MAC of mercury in the water body in the water reservoirs – 0,0005 mg/l.

Upon the occurrence of the disease it becomes incurable.

1. Entering the water bodies mercury and its compounds are present in the greatest concentrations in the sediments to the less extent in the water accumulated in hydrobionts and shellfish. 2. Mercury is accumulated mainly in the liver, kidney, brain and bones, less accumulated in the meat part. 3. Bioaccumulation and biomagnification of mercury in aquatic food chains are indicators of mercury contamination of water bodies. 4. The greatest accumulation of mercury is observed in predatory fish, as they are at the higher stages of its migration. 5. Mercury and its compounds once entering the human body, lead to Minamata disease.

Серебристо-белый металл, жидкий при комнатной температуре; в твердом состоянии ковкий. Не окисляется в сухом воздухе, покрывается серой оксидной пленкой во влажном воздухе. Благородный металл; не реагирует с водой, кислотами-неокислителями, щелочами, гидратом ам-

миака. Переводится в раствор иодоводородной кислотой за счет комплексобразования. Слабый восстановитель; реагирует с концентрированными серной и азотной кислотами, «царской водкой», галогенами, халькогенами. Со многими металлами (Na, K, Ca, Ba, Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Pb и

др.) образует амальгамы (жидкие или твердые) – интерметаллические соединения или сплавы. В природе встречается в самородном виде [2].

Исследования содержания и распределения ртути в абиотических и биотических компонентах пресноводных водоемов в настоящее время биотических и абиотических факторов, влияющих на процессы миграции, аккумуляции и трансформации ртути в гидробионтах различных трофических уровней, остаются недостаточно изученными. Целью исследований являлось изучение влияния таких факторов, как биотоп обитания и пищевое поведение гидробионтов, на аккумуляцию и распределение ртути.

Ртуть обладает чрезвычайно широким спектром и разнообразием токсического воздействия на биоту и накапливается в пищевых цепях гидробионтов преимущественно в наиболее токсичной метилированной форме [5]. Главную роль в реакции образования метилртути (MeHg), протекающей даже при низких содержаниях металла, в природных условиях играют микроорганизмы [1].

Накопление ртути определяется не только скоростью прямых процессов аккумуляции металла конкретным трофическим уровнем, но и временными характеристиками естественных биологических процессов, т.е. совокупностью абиотических и биотических факторов среды, находящихся в постоянной взаимосвязи и существенно влияющих друг на друга. К биотическим факторам следует отнести – питание (трофический статус), экологические и морфо-биологические характеристики гидробионтов, к абиотическим – гидрохимические, физико-химические и гидрологические показатели окружающей среды.

Донные отложения являются важной характеристикой водных экосистем. Аккумулируя тяжелые металлы, радионуклиды и высокотоксичные органические вещества, донные отложения, с одной стороны, способствуют самоочищению водных сред, а с другой – представляют собой постоянный источник вторичного загрязнения водоемов. Донные отложения – перспективный объект анализа, отражающий многолетнюю картину загрязнения (особенно в малопроточных водоемах). Причем накопление неорганической ртути в донных отложениях наблюдается особенно в устьях рек. Может возникнуть напряженная ситуация, когда адсорбционная способность отложений (ила, осадков) будет исчерпана. Когда будет достигнута адсорбционная емкость, тяжелые металлы, в т.ч. ртуть начнут поступать в воду. [3].

При участии микроорганизмов может метилироваться в две стадии металлическая ртуть [2]:  $\text{Hg} \rightarrow \text{CH}_3\text{Hg}^+ \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ .

Метилртуть в окружающей среде появляется практически только при метилировании неорганической ртути.

Биологический период полувыведения ртути велик, он составляет для большинства тканей организма 70–80 дней.

Происходит трансформация ртути. Этот элемент встречается в природе в нескольких формах.

Металлическая ртуть и ее неорганические соли (например, хлорид) выводятся из организма сравнительно быстро.

Гораздо более ядовиты алкильные соединения ртути, в частности метил- и этилртуть. Эти соединения очень медленно выводятся из организма – за сутки всего лишь около 1% общего количества. Хотя большая часть ртути, попадающей в природные воды, содержится в них в виде неорганических соединений, в рыбе она всегда оказывается в форме гораздо ядовитой метилртути. Бактерии в донном иле озер и рек, в слизи, покрывающей тела рыб, а также в слизи рыбьего желудка способны превращать неорганические соединения ртути в метилртуть.

Избирательное накопление, или биологическое накопление (концентрирование), повышает содержание ртути в рыбе и моллюсках до уровней во много раз выше, чем в воде залива. Рыбы и моллюски, обитающие в реке, накапливают метилртуть до концентраций, опасных для человека, использующего их в пищу.

99% мирового улова рыбы содержит ртуть в количестве не более 0,5 мг/кг, а 95% – ниже 0,3 мг/кг. Почти вся ртуть в рыбе находится в виде метилртути.

Образованная биохимическим путем в воде и донных отложениях водоемов, метилртуть более интенсивно аккумулируется гидробионтами. Присутствуя в водной среде за счет уменьшения фотосинтеза водорослей на 10–90%, приводит к снижению первичной продукции и пророста биомассы. Механизм поглощения ртути у водорослей осуществляется путем пассивной адсорбции. Питаясь водорослями и растениями гидробионты накапливают ртуть в почках, печени, мозге и костях, при чем наибольшая концентрация ртути наблюдается у хищных гидробионтов. [3]. Известно, что в начале пищевой цепочки происходит загрязнение ртутью крупных рыб, например зоопланктоне, пелагических амфиподах и молоди рыб, ещё в большей степени, чем в рыбах, ртуть накапливается (аккумулируется) в моллюсках.

У метилртути более высокая степень проникновения через биологические мембраны, по сравнению с неорганическими формами ртути [5], в результате своей липофильности (сродство к жирам) и возможности образования связей с клеточными белками. Метилртуть легко проникает через кожу, жабры и пищеварительный тракт. Уровни содержания выше в органах печени нежели в мышечной ткани. Доля органической формы для мяса и печени составляет 50 и 70% от общего содержания ртути.

В пресноводных экосистемах миграция ртути в гидробионтах зависит от сложности пищевых цепей. Например 1) вода – фитопланктон – зоопланктон – окунь; 2) вода – фитопланктон – зоопланктон – молодь рыб – окунь; 3) донные осадки – зообентос – окунь. В отличие от зоопланктона, в водоросли ртуть поступает только из воды. Так же хочу отметить, что чем выше зона обитания гидробионтов от донных отложений, тем накопления в них ртути меньше, например, глубоководные рыбы, обитающие на дне озера, накапливают ртуть на порядок больше, чем пелагические.

С давних времен человечество занимается ловлей рыбы с целью употребления в пищу. Учитывая разную токсичность ртутных соединений для человека в пищевых продуктах необходимо определять неорганическую (общую) и органически связанную ртуть. В России опреде-

ляется только общее содержание ртути. По медико-биологическим требованиям содержание ртути в пресноводной хищной рыбе допускается 0,6 мг/кг, в морской – 0,4 мг/кг, в пресноводной не хищной только 0,3 мг/кг, а в тунцовых до 0,7 мг/кг. В продуктах детского питания содержание ртути не должно превышать 0,02 мг/кг в рыбных консервах, в остальных – 0,01 мг/кг, ПДК ртути в водном объекте в воде водоемов – 0,0005 мг/л

Метилртуть присутствует во всех организмах из воды и донных отложений, поступает в организм человека и разрушает мозг, приводит к болезни Минамата. При наступлении патологии болезнь неизлечима. Пример Массового отравления в префектуре Кумамото вследствие систематического загрязнения залива стоками химического завода. Канадская экологическая катастрофа 1970 года вследствие загрязнения водных ресурсов химическими стоками. Массовое отравление метилртутью в Ираке (1971) вследствие использования обработанного метилртутью зерна.

Братское водохранилище в районе работы комбинатов «Саянскхимпласт» и «Усольехимпром» имеет крупномасштабное ртутное загрязнение [Восточно-Сибирская правда: 09 октября 1999]. По данным Госкомприроды совместно с Институтом геохимии СО РАН и ГФУГП Иркутскгеология среднее содержание ртути в поверхностном слое донных осадков примерно в 30 раз превышает аналогичные показатели в Иркутском водохранилище. Загрязнения распределяются неравномерно. Участок Свирск – Балаганск: до 4,4 мг/кг, что в 100 с лишним раз выше нормы, поселок Ангарский: 4,4 мг/кг, район Балаганска: до 2 мг/кг, участок поселок Прибойный – гора Монастырская: до 1 мг/кг,

Окинская часть водохранилища: 1–1,5 мг/кг. [6,7].

По подсчетам Института геохимии, 50 % рыбы загрязнено ртутью выше ПДК. Ртуть накопилась в донных отло-

жениях, и рыба будет содержать ее постоянно, пока осадки не перекроются более чистыми, – на это уйдет не один десяток лет [7].

Заключение: 1. Поступая в водные объекты, ртуть и ее соединения содержатся в наибольших концентрациях в донных отложениях в меньших степенях в воде, аккумулируются в гидробионтах и моллюсках. 2. Накопление ртути в основном осуществляется в печени, почках, мозге и костях, меньшая часть накапливается в мясе. 3. Биоаккумуляция и биомагнификация ртути в пищевых цепях гидробионтов являются показателями ртутного загрязнения водоемов. 4. Наибольшая аккумуляция ртути наблюдается у хищных рыб, так как они стоят на высших ступенях ее миграции. 5. Ртуть и ее соединения поступая в организм человека, приводит к болезни Минамата.

В период развития научно-технического прогресса, мы не осознавали всю опасность, связанную со сферами промышленности в которой используется ртуть. Как например добыча золота, производство приборов тонометров и термометров, переработка нефти, производство бумаги, металлов, удобрений, военных химических материалов, очистка золота, при массовых кустарных добычах, электротехника, транспорт, медицина и быт. Поэтому ртуть и ее соединения, поступая в биосферу, накапливается и постепенно ухудшает ее качество. Многолетние исследования ртутных загрязнений окружающей среды рек, водохранилищ и других водных объектов показали, что очищение их экосистем от ртути процесс, растянутый во времени, на который влияют многие факторы, как природные, так и антропогенные, а с увеличением вышеуказанных производств, влияние ртути на компоненты экосистем и на человека только увеличиваются.

### Литература

1. Азовский М.Г., Пастухов М.В., Гребенщикова В.И. Уровень накопления ртути в водных растениях как показатель загрязнения водоемов // *Вода: химия и экология*, 2010.
2. Г. Рени *Курс неорганической химии том 2*.
3. ГПНТБ СО АН СССР, 1989.
4. Р.Рипан, И.Четяну, *Неорганическая химия том 2 Химия металлов 871 с*.
5. Кузубова и др., 2000.
6. *Восточно-Сибирская правда: 09 октября 1999*.
7. Интернет-ресурсы: <http://flb.ru/infoprint/13443.html>.

## ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОРГАНОВ И ТКАНЕЙ ЗОЛЫ СВИНЬИ ДОМАШНЕЙ (*Sus Scrofa Domestica*)

К.В. Шакирова<sup>1</sup>, Ян Ренау<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИ Томский Политехнический Университет, Томск, Россия

<sup>2</sup>Университет Париж-Зюд, Франция

### THE STUDY OF PECULIARITIES IN DOMESTIC PIG'S (*Sus Scrofa Domestica*) ORGANS AND TISSUE ELEMENT COMPOSITION

K.V. Shakirova<sup>1</sup>, Yan Renau<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tomsky Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>University of Paris-Sud, France

**Abstract.** *The article considers the changes in element composition of pig's organs and tissues (*Sus Scrofa Domestica*) depending on the natural-anthropogenic environment of the territory.*

Для стабильного функционирования всех субклеточных структур, клеток, тканей, органов и систем, адекватного удовлетворения потребности в энергии и питательных веществах любому живому организму необходимо ежедневное поступление определенного количества белков, жиров, углеводов, а также целого ряда витаминов и химических элементов. Каждый химический элемент, в том или ином виде, присутствующий в организме, выполняет свою особую функцию. Макро- и микроэлементы входят в состав ряда ферментов, витаминов, гормонов, дыхательных пигментов и других биологически активных веществ. Поскольку между элементами, как в процессе всасывания, так и обмена существуют тесные взаимоотношения, дефицит или избыток одних влияет на обмен других, что может оказывать определенное влияние на физиологическое состояние органов и систем организма [1].

Химические элементы способны накапливаться живым организмом и попадать по трофическим путям в пищу человека, причем, между животным и человеком этот процесс пройдет всего в одну ступень (рисунок 1). Из-за высокой опасности попадания тяжелых металлов и токсичных элементов в организм человека через пищу в качестве объекта исследования была выбрана свинья домашняя (*Sus Scrofa Domestica*).

Свинья домашняя (*Sus Scrofa Domestica*) – разновидность кабана, одомашненная человеком около 7 000 лет назад. Традиционно свиней выращивают в основном ради мяса и широко употребляют в пищевой промышленности, как мясо, так и некоторые внутренние органы и хрящи. Кроме того, свинья домашняя употребляется в пищу на всей территории России и мира.

Для получения достоверной и максимально яркой картины накопления элементов в живых организмах было решено отобрать пробы на территориях с разной геоэкологической обстановкой (Рисунок 2). Двадцать пять проб органов и тканей свиньи домашней были отобраны на

территории с отягощенной экологической ситуацией, они были взяты в хозяйстве поселка Кижирова находящегося в 12 км по розе ветров и испытывающего воздействие города и Северного промышленного узла (СПУ). Кроме того на этой территории зафиксирована природная геохимическая аномалия связанная с присутствием Туганского цирконоильменитового месторождения. Поселок Кижирова входит в состав ЗАТО (закрытое административно-территориальное образование) Северск вместе с другими поселками, такими как Самусь, Орловка, Чернильщиково, Семиозерки с прилегающими территориями. Основой экономического развития ЗАТО Северск является ОАО «Сибирский химический комбинат» [4]. Кроме того в районе СПУ располагается ООО «Томскнефтехим», ООО «Томская спичечная фабрика Сибирь», а также другие предприятия (в общей сложности около 30) [3].

Другие двадцать пять проб были взяты в хозяйстве, расположенном в районе с незначительными техногенными изменениями на территории водозабора, испытываю-

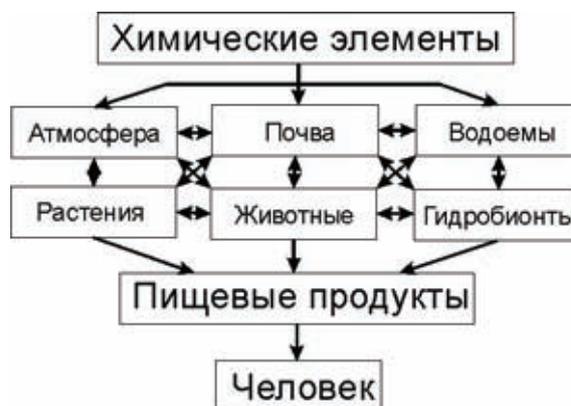


Рис. 1. Пути распространения загрязняющих веществ по пищевым цепочкам



Рис. 2. Ситуационная схема расположения точек отбора проб

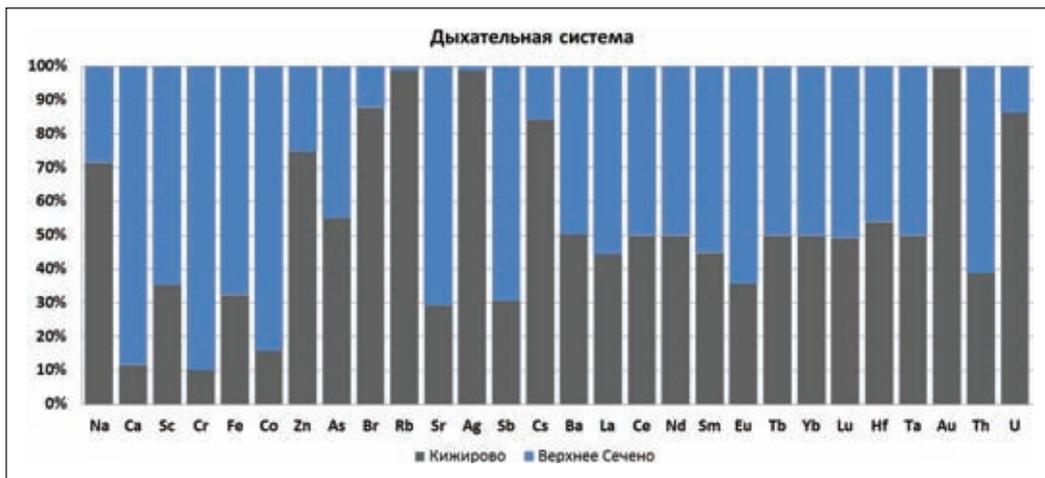


Рис. 3. Процентное соотношение химических элементов в органах дыхательной системы свиньи домашней (*Sus Scrofa Domestica*)

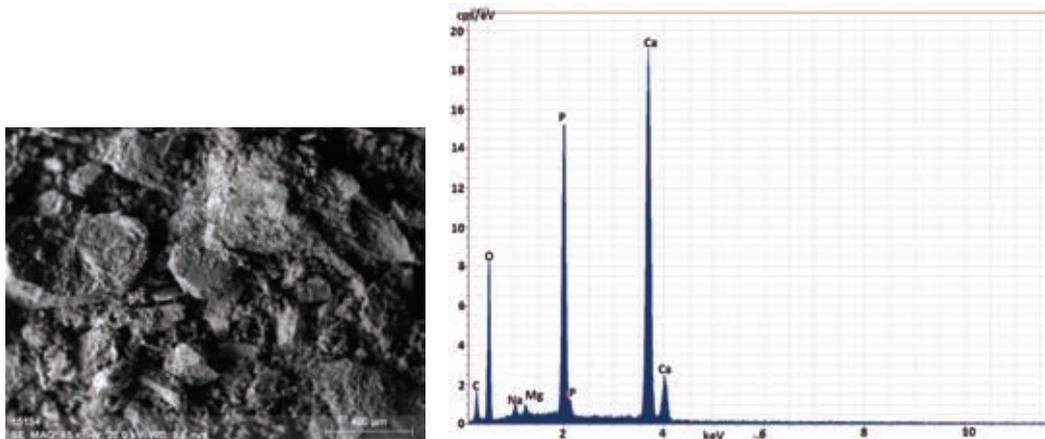


Рис. 4. Вещественный состав золы трубчатой кости свиньи домашней (*Sus Scrofa Domestica*) поселок Верхнее Сеченово. А – электронная микроскопия (увеличение 15 130); Б – энергодисперсионный спектр содержания химических элементов в пробе

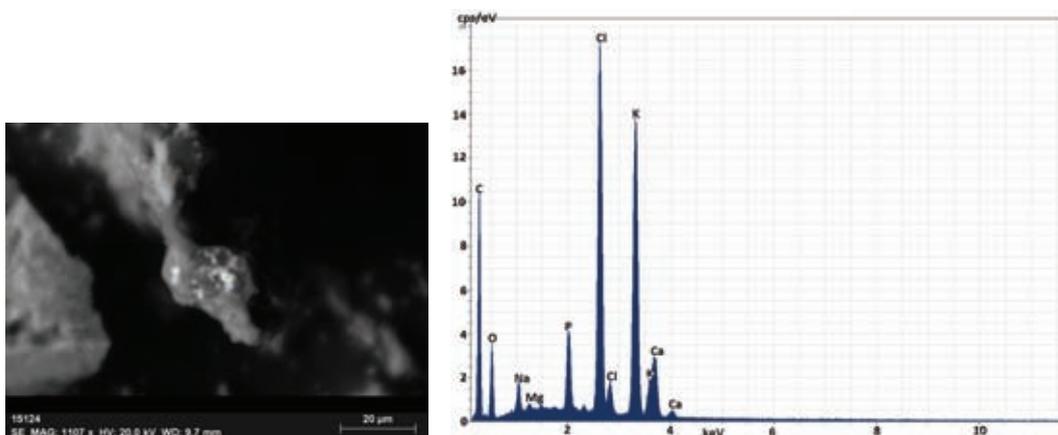


Рис. 5. Вещественный состав золы трубчатой кости свиньи домашней (*Sus Scrofa Domestica*) поселок Кижирово. А – электронная микроскопия (увеличение 15 120); Б – энергодисперсионный спектр содержания химических элементов в пробе

щую периодическую нагрузку со стороны города при смене направления ветра. Фоновый район располагается на подветренном участке находящимся в междуречье реки Томи и Оби в Томском районе в поселке Верхнее Сеченово в 55 км от города Томска. Численность населения поселка составляет 224 человека [5].

Методы исследования направлены на выявление элементного состава биологических объектов, а именно органов и тканей свиньи домашней. Важным требованием к аналитическим работам при геохимических исследованиях является удовлетворительная воспроизводимость и правильность определений. Для того чтобы установить возможность использования элементного состава свиньи в качестве индикаторного состояния окружающей среды использовался инструментальный нейтронно-активационный анализ, и электронная микроскопия (Hitachi S-3400N).

Для анализа пробу озоляли при температуре 600 °С, затем истирали в агатовой ступке до пудры, по 100 мг золы упаковывали в алюминиевую фольгу и отправляли на инструментальный нейтронно-активационный анализ.

Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА) на 27 химических элементов выполнен согласно инструкции НСАМ ВИМС №410-ЯФ с облучением тепловыми нейтронами на исследовательском реакторе ИРТ-Т в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования Томского политехнического университета (аналитик – с.н.с. А.Ф. Судыко).

Живые организмы могут резко различаться по общему элементному составу. В.И. Вернадский указывал на существование организмов, содержащих десятки процентов кремния, алюминия, железа, кальция, сильно обогащенных магнием, калием, хлором, барием, бором, йодом, марганцем, серой, стронцием, цинком, фосфором и другими элементами [1].

Высокое содержание элемента в органе само по себе свидетельствует о его определенной биологической роли. В тех случаях, когда рассматриваются органы или структуры с конкретными функциями, выявление роли накапливающегося элемента проще. Давно, например, установлена роль кальция и фосфора в образовании костной ткани, железа в процессах кроветворения и переноса кислорода кровью, йода в деятельности щитовидной железы и т.д. Когда функция органа менее специализирована, накопление элементов не столь однозначно и определить его труднее. В таких случаях считают, что именно в этих органах

элементы вовлекаются в обменные процессы [2].

Наиболее интересными оказались результаты анализа дыхательной системы свиньи домашней (*Sus Scrofa Domestica*) (рисунок 3).

Мы видим существенное процентное преобладание химических элементов, в пробе из поселка с отягощенной экологической ситуацией Кижирова, таких элементов как уран, золото, цезий, серебро, рубидий, бром, цинк, натрий. В то время как во второй пробе из поселка Верхнее Сеченово преобладают иные элементы, такие как кальций, хром, кобальт, стронций.

Накопление элементов в дыхательных органах и путях свидетельствует о воздействии связанном с влиянием веществ находящихся в газовой фазе. Этот факт позволяет сделать вывод о том, что воздействию подвергается все живые организмы в районе исследований.

Согласно данных электронной микроскопии полученных в результате исследования (Рисунок 4, 5), мы видим резкое различие в элементном составе между пробами костей свиньи домашней (*Sus Scrofa Domestica*) из разных поселков. В пробе из Верхнего Сеченово основными элементами являются: кальций, фосфор, кислород, а также в небольшом количестве углерод, натрий, марганец, что является естественным для костной ткани организма. В пробе из Кижирова вместо высокого содержания кальция и фосфора, наибольших концентраций достигает хлор и калий, что является аномалией для костной ткани, можно также предположить что в костях идет накопление солей KCl, в малых концентрациях содержится кальций, фосфор, углерод, кислород, натрий, марганец.

Разницу накопления элементов в разных органах в пробах из Кижирова и Верхнего Сеченово можно связать с условиями питания, экологической ситуацией, геологией (месторождение циркониевых песков).

Негативное влияние, оказываемое на живые организмы объектами техногенной деятельности, через загрязнение среды обитания, становится возможным попадание избыточных количеств тяжелых металлов и токсичных элементов в пищевые продукты, что представляет опасность для здоровья человека. Тяжелые металлы способны накапливаться, и образовывать высокотоксичные металлосодержащие соединения, и вмешиваться в метаболический цикл живых организмов, вызывая у человека и животных ряд заболеваний и проявлять широкое токсическое действие.

## Литература

1. Виноградов А.П. Биогеохимические провинции и эндемии // Докл. АН СССР, 1938. – Т. 18. – №4–5. – С. 483–486.
2. Кист А.А. Феноменология биогеохимии биогеохимической химии. – Ташкент, ФАН, 1987. – 236 с.
3. Экология Северного промышленного узла г. Томска: Проблемы и решения / Томский государственный универси-

- тет; под ред. А.М. Адама. – Томск: Изд-во ТГУ, 1994. – 260 с.
4. [http://www.seversknet.ru/building/gen\\_plan/shemes/](http://www.seversknet.ru/building/gen_plan/shemes/). – Сайт администрации ЗАТО Северск [дата обращения 17.02.2013].
5. <http://www.tradm.ru/fisher.html>. – Официальный сайт муниципального образования Томского района [дата обращения 17.02.2013].

## ЭЛЕМЕНТЫ-ИНДИКАТОРЫ ТЕХНОГЕНЕЗА В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

А.Р. Ялалдинова

Томский политехнический университет, Томск, Россия, [yalaltdinova.aly@mail.ru](mailto:yalaltdinova.aly@mail.ru)

## INDICATOR ELEMENTS OF TECHNOGENESIS IN THE LEAVES OF WOODY PLANTS

A.R. Yalaltdinova

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, [yalaltdinova.aly@mail.ru](mailto:yalaltdinova.aly@mail.ru)

**Abstract.** *The article deals with the content of chemical elements in the leaves ash of black poplar (*Populus nigra* L.) growing in Ust-Kamenogorsk city area. Ust-Kamenogorsk city area was relatively divided into 4 districts, depending on the degree of anthropogenic impact and also distribution profiles were constructed. The peculiarities of major city enterprises are reflected in the accumulation of specific indicator elements.*

Экологическое состояние территорий городов в настоящее время обусловлено интенсивной хозяйственной деятельностью человека, постоянным нарастанием техногенной нагрузки на природу, а также нарушением механизмов саморегуляции биосферы. Промышленные предприятия города в свою очередь являются источниками антропогенного загрязнения, наиболее опасного для популяций любых организмов.

Неблагоприятная экологическая обстановка сложилась на территории города Усть-Каменогорска Восточно-Казахстанской области в силу расположения в долине реки, окруженной возвышенностями и частоты неблагоприятных метеоусловий, способствующих накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы, а также особенностей городской застройки: расположения промышленных предприятий в непосредственной близости от жилых районов. К предприятиям первой категории опасности в г. Усть-Каменогорске относятся: ТОО «Казцинк», ТОО «AES Усть-Каменогорская ТЭЦ», АО «Ульбинский металлургический завод», а также ОАО «Усть-Каменогорский титано-магниевого комбинат» [3].

Растения чутко реагируют на изменения в окружающей среде, содержание специфических химических элементов в различных частях и органах растений, выступает в роли индикатора техногенеза, а также указателя возможных источников поступления данного элемента [1].

Таким образом, с целью оценки влияния техногенеза на окружающую среду на территории г. Усть-Каменогорска изучался элементный состав листьев тополя черного (*Populus nigra* L.), широкого распространенного на данной территории и известного своим ультрабыстрым ростом и высокими сорбционными показателями [2].

Отбор проб листьев проводился в августе 2011 года по равномерной сети по всему городу с уплотнением сети вблизи крупных промышленных предприятий по стандартной методике [4, 5], всего была отобрана 101 проба. Подготовка проб к анализу включала озоление материала при температуре 600 °С в течение 2 часов с момента достижения заданной температуры. Определение элементного состава золы осуществлялось с применением инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА), выполненного на исследовательском реакторе

ИРТ-Т НИИЯФ в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования кафедры геоэкологии и геохимии НИ ТПУ. Лаборатория аттестована и аккредитована в системе стандартов Российской Федерации, качество результатов анализов удовлетворительно.

Для наглядности представления материала город был условно разделен на 4 района: Ульбинский район – наиболее подверженный техногенному воздействию, на территории которого расположены предприятия Северной промышленной зоны (Казцинк, УМЗ и УК ТЭЦ), 2 района, которые можно условно назвать менее техногенно измененными: Октябрьский район, расположенный по направлению преобладающего ветра относительно Северной промзоны, и район Согры и Гавани, на окраине которого расположен ТМК. Район Аблакетки и Левого берега – четвертый район, условно удаленный и наименее подверженный влиянию. Среднее содержание элементов в золе тополя черного г. Усть-Каменогорска бралось за основу для определения специфических элементов для территории каждого района (табл. 1). Специфика Ульбинского района объясняется наличием промышленных предприятий. На Ульбинском металлургическом заводе производят таблетки для атомных электростанций из обогащенного урана и тантал, Казцинк – производитель в первую очередь цинка, свинца, а также золота и серебра. Повышенное накопление железа и хрома в Октябрьском районе, возможно, может быть объяснено наличием на его территории свалки ТБО. Источники остальных элементов на данном этапе установлены не были.

Для уточнения пространственного распределения элементов-индикаторов были условно проведены профили

**Таблица 1.** Особенности накопления элементов в золе листьев тополя черного (*Populus nigra* L.) различных районов г. Усть-Каменогорска

	Ульбинский район (53 пробы)	Октябрьский район (18 проб)	Согра, Гавань (15 проб)	Аблакетка, Левый берег (15 проб)
Превышение относительно среднего содержания элементов в золе листьев тополей г. Усть-Каменогорска (в порядке убывания содержания)	Sb–U–Zn– Au–Ta	Fe–Cr–La–Ce	Br–Sr	Co–Cs

распределения элементов через предполагаемые источники поступления.

При проведении профиля через СПЗ с северо-запада на юго-восток (с учетом преобладающих направлений ветров) была установлена тенденция снижения содержания цинка и урана по мере удаления от Северной промышленной зоны, как показано на рисунке, на примере цинка. Для тантала и сурьмы тенденция выдерживается только в одном направлении.

Профиль, начинающийся от Титано-магниевого завода и проходящий мимо Северной промышленной зоны, подтверждает, что максимальные значения брома отмечаются вблизи предприятия и содержание снижается по мере удаления от него.

Для остальных элементов четкой тенденции установлено не было, что говорит о возможном наличии нескольких источников поступления данных элементов.

Таким образом, по результатам проведенных исследований было установлено, что на территории с интенсивной хозяйственной деятельностью человека выделяются районы, наиболее подверженные техногенезу, на территории которых располагаются крупные промышленные предприятия города. Наибольшее же влияние оказывается на территорию, непосредственно прилегающую к предприятию. Также можно выделить элементы-индикаторы

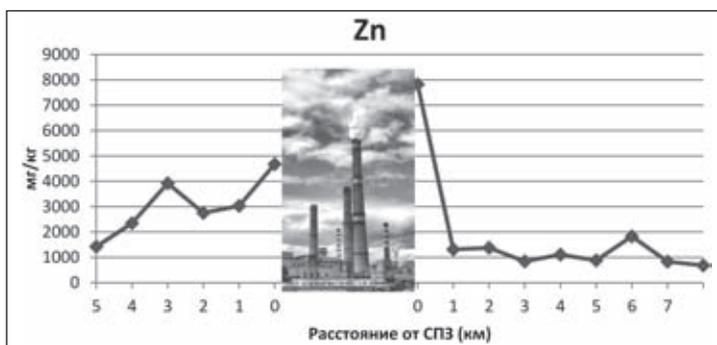


Рис. 1. Изменение содержания цинка в золе листьев тополя черного с увеличением расстояния от источника эмиссии (СПЗ)

техногенеза, повышенное накопление которых вызвано спецификой данных предприятий. Так на территории г. Усть-Каменогорска в золе листьев тополя черного (*Populus nigra L.*) отмечается повышенное накопление таких элементов, как U, Ta, Zn, Au и Sb. Наиболее вероятным источником поступления U и Ta является Ульбинский металлургический завод, поступление Zn, Au и Sb скорее всего связано с деятельностью Казцинка. Вблизи Титано-магниевого завода отмечается высокое содержание брома, но нет никаких данных, подтверждающих его использование в технологическом цикле, специфичные для ТМК элементы не анализировались.

### Литература

1. Барановская Н.В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем: автореф. дис. ... д-р. биол. наук. – Томск, 2011. – 46 с.
2. Ивлев А.М. Биогеохимия: учебник. – М.: Высшая школа, 1986. – 127 с.
3. Самакова А.Б. Комплексная оценка экологии и здоровья населения промышленного города / А.Б. Самакова, А.А. Белонюг, В.С. Якупов и др. – Алматы, 2005. – 300 с.
4. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / Под ред. А.П. Соловов, А.Я. Архипов, В.А. Бузров и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
5. Уфимцева М.Д., Терехова Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. – СПб: Наука, 2005. – 66 с.

# АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

## AUTHOR INDEX

Абикеева Ж.Е. ....	116, 119, 123	Ляпина Е.Е. ....	149
Алексеев В.А. ....	28, 33	Мажейка Й. ....	134
Алибекова Б.Ж. ....	175	Мальцев А.Е. ....	153
Апсаликов Р.К. ....	137, 141	Марчуленене Е.Д. ....	134
Асылбекова Г.Е. ....	106, 118, 144	Меркель А.И. ....	137
Бабенко А.С. ....	40	Мех А.А. ....	132
Балдина К.Е. ....	119, 123	Миронова А.С. ....	156
Барабаш Н.А. ....	94	Наркович Д.В. ....	158
Барановская Н.В. ....	42, 61, 89, 94, 158	Нгуен Ван Зунг ....	132
Безель В.С. ....	57	Нгуен Чунг Киен ....	132
Беляновская А.И. ....	119, 123	Павлова К.С. ....	165
Бобров В.А. ....	82, 153	Перминова Т.А. ....	169
Боев В.В. ....	126	Погромская А.И. ....	172
Болсуновский А.Я. ....	178	Подкозлин И.В. ....	129
Большунова Т.С. ....	129	Рихванов Л.П. ....	61, 89
Денисова Е.В. ....	169	Снегур А.А. ....	146
Денисова О.А. ....	61	Станкевич С.С. ....	94
Джамбаев М.Т. ....	137	Страховенко В.Д. ....	99
До Тхи Зунг ....	132	Таран О.П. ....	99
Егорова К.К. ....	61	Темешева З.М. ....	175
Ермаков В.В. ....	9, 64	Трофимова Е.А. ....	178
Ермолаева Н.И. ....	99	Усабаев К.С. ....	141
Ефанова О. ....	134	Федюшина О.Ю. ....	180
Жакупова Ш.Б. ....	137, 141	Черногорюк Г.Э. ....	61
Жаскайрат Д.Ж. ....	141	Шаймарданова Б.Х. ....	106, 118, 144
Зайчик В.Е. ....	76	Шакирова К.В. ....	182
Зингатинова З.С. ....	137, 141	Шилова И.В. ....	111
Зотина Т.А. ....	178	Ялалдинова А.Р. ....	186
Калянов Е.В. ....	61	Ян Ренау ....	182
Капустина А.А. ....	156	Abikeeva Zh.E. ....	116, 119, 123
Корогод Н.П. ....	106, 118, 144	Alekseenko V.A. ....	28, 33
Кривоногов С.К. ....	153	Alibekova B.Zh. ....	175
Леонова Г.А. ....	82, 153	Apsalikov R.K. ....	137, 141
Линькова Я.В. ....	146	Asylbekova G.E. ....	106, 118, 144
Липихина А.В. ....	137, 141	Babenko A.S. ....	40

Baldina K.E. ....	119, 123	Mazeika J. ....	134
Barabash N.A. ....	94	Mech A.A. ....	132
Baranovskaya N.V. ....	42, 61, 89, 94, 158	Merkel A.I. ....	137
Belyanovskaya A.I. ....	119, 123	Narkovich D.V. ....	158
Bezel' V.S. ....	57	Nguyen Chung Kien ....	132
Bobrov V.A. ....	82, 153	Nguyen Van Zung ....	132
Boev V.V. ....	126	Pavlova K.S. ....	165
Bolshunova T.S. ....	129	Perminova T.A. ....	169
Bolsunovsky A.Ya. ....	178	Podkozlin I.V. ....	129
Chernogoryuk G.E. ....	61	Pogromskaya A.I. ....	172
Denisova E.V. ....	169	Rikhvanov L.P. ....	61, 89
Denisova O.A. ....	61	Shaimardanova B.Kh. ....	106, 118, 144
Do Thi Zung ....	132	Shakirova K.V. ....	182
Egorova K.K. ....	61	Shilova I.V. ....	111
Ermakov V.V. ....	9, 64	Snegur A.A. ....	146
Errmolaeva N.I. ....	99	Stankevich S.S. ....	94
Fedyushina O.Yu. ....	180	Strakhovenko V.D. ....	99
Jambaev M.T. ....	137	Taran O.P. ....	99
Jefanova O. ....	134	Temesheva Z.M. ....	175
Kalyanov E.V. ....	61	Trofimova E.A. ....	178
Korogod N.P. ....	106, 118, 144	Ussabaev K.S. ....	141
Krивonogov S.K. ....	153	Yalaltdinova A.R. ....	186
Leonova G.A. ....	82, 153	Yan Renau ....	182
Linkova Y.V. ....	146	Zaichick V.E. ....	76
Lipikhina A.V. ....	137, 141	Zhakupova Sh.B. ....	137, 141
Lyapina E.E. ....	149	Zhaskairat D.Zh. ....	141
Maltsev A.E. ....	153	Zingatinova Z.S. ....	137, 141
Marciulioniene E.D. ....	134	Zotina T.A. ....	178

Научное издание

**«ГЕОХИМИЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ ШКОЛА-СЕМИНАР,  
посвященная 150-летию со дня рождения В.И. Вернадского  
(1863–2013)

г. Томск, 2–5 июня 2013 г.

Статьи напечатаны в авторской редакции.

Редактор *Н.В. Барановская*  
Компьютерная верстка *В.В. Жуков*  
Дизайн обложки *В.В. Жуков*

Подписано к печати 25.04.2013. Формат 60×84/8. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 22,55. Уч.-изд. л. 20,38.  
Заказ 486-13. Тираж 200 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел/факс: +7 (3822) 56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)