



О СООТНОШЕНИИ МЫШЬЯКА И СУРЬМЫ В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОВИНЦИЯХ КАК ФАКТОРОВ РИСКА ЗДОРОВЬЮ

В.В. Турбинский¹, С.Б. Бортникова²

¹Новосибирский государственный медицинский университет, Россия, 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 52

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3

Изучение закономерностей распределения химических элементов в биосфере, особенно на территориях биогеохимических провинций природного или техногенного происхождения, необходимо для обеспечения мероприятий по управлению рисками здоровью населения. На примере полуметаллов мышьяка и сурьмы показано, что близость их физико-химических свойств сопровождается сходствами и во влиянии на живые организмы. Однако амфотерность мышьяка и сурьмы обуславливает широкий диапазон взаимодействия элементов с биологическими молекулами организма. В результате совместное влияние этих веществ на живые организмы приводит как к их антагонистическим, конкурентным отношениям, так и к синергическим. На основании обзора литературы показано, что растения характеризуются меньшей избирательностью и в условиях биогеохимической аномалии легко накапливают в своем составе токсичный мышьяк, тогда как животные избирательно ограничивают его накопление в организме, поглощая в большей мере менее токсичную сурьму. Соответственно, на территориях биогеохимических провинций по содержанию мышьяка и сурьмы медико-профилактические мероприятия по минимизации рисков здоровью населения необходимо осуществлять, учитывая особенности накопления этих элементов в организме теплокровных животных и человека. С учетом этих особенностей должны формироваться и программы гигиенических исследований, расследований, экспертиз. Исследования должны включать: анализ путей и химических форм миграции элементов в окружающей среде, установление молекулярных механизмов проникновения элементов в клетку и условий различных сценариев их метаболизма и биологической эффективности.

Ключевые слова: соединения мышьяка и сурьмы, биогеохимические провинции, биогеоценоз, здоровье населения, медико-профилактические мероприятия.

В биогеохимической провинции живые организмы вынуждены перестраивать свои жизненные процессы. Это приводит к формированию специфического дисбаланса элементов в организме, который необходимо устранять посредством специальных медико-профилактических технологий [1–4].

Поглощение химических элементов из окружающей среды теплокровными организмами зависит как от химических свойств и агрегатного состояния элемента, его количества, сопутствующих элементов, а также свойств тканей организма, контактирующих с ними [5]. Такое множество условий делает поглощение химических элементов организмом ситуационно обусловленным процессом, поэтому в условиях биогеохимических провинций требуется установление характерных для каждой

провинции закономерностей поступления, накопления и выведения элементов из организма. В связи с такой множественной зависимостью токсического действия химических веществ И.М. Трахтенберг [6] отмечал необходимость обязательного исследования в биогеохимических провинциях количественного суммарного загрязнения среды обитания человека для разработки эффективных профилактических мероприятий.

Более чем полувековое изучение биогеохимических аномалий природного и техногенного характера позволило определить перечни веществ, причины и условия образования биогеохимических провинций, сформулировать закономерности их возникновения, выработать тактику и стратегию мероприятий по обеспечению профилактики нару-

© Турбинский В.В., Бортникова С.Б., 2018

Турбинский Виктор Владиславович – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры гигиены и экологии (e-mail: vvturbinski@mail.ru; тел.: 8 (913) 776-37-58).

Бортникова Светлана Борисовна – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией геоэлектрoхимии (e-mail: BortnikovaSB@ipgg.sbras.ru; тел.: 8 (383) 363-91-95).

шений состояния здоровья населения [7]. Увеличение промышленного производства требует нового ресурсного обеспечения на основе новых технологических решений как в области производства, так и разведки новых и рекультивации использованных ранее месторождений полезных ископаемых [8].

Мышьяк относится к числу широко распространенных элементов, содержащихся во многих минералах особенно металлосодержащих. Мышьяк является металлоидом, то есть занимает промежуточное положение между металлами и неметаллами, и поэтому для поиска закономерностей его рассеивания определенный интерес связан с анализом биогеохимических свойств других металлоидов, например, сурьмы – также веществом, издавна используемым человеком и, что важно, также сопутствующим многим металлам [9]. Сурьма (Sb) и ее соединения на 43-й Сессии Всемирной Ассамблеи здравоохранения, проходившей в Женеве в 1990 г., внесены в перечень токсичных или опасных веществ, требующих первоочередного внимания [10, 11].

Металлы и металлоиды обладают общей способностью взаимодействовать с сульфгидрильными группами биологических молекул, участвующих в проведении нервных импульсов, процессах тканевого дыхания, мышечного сокращения, проницаемости клеточных мембран и т.д. В результате реакции ионов металлов и металлоидов с SH-группами образуются нерастворимые соединения – меркаптиды, что приводит к нарушению течения ряда биохимических процессов, лежащих в основе развития отравления [12].

Цель исследования состояла в сравнительном анализе параметров токсикометрии и токсикокинетики мышьяка и сурьмы в условиях их биогеохимической аномалии.

Мышьяк уникален тем, что он встречается повсюду: в минералах, в горных породах, в почве и воде, в растениях и животных. Среднее содержание мышьяка в реках – 3 мкг/л, в поверхностных водах – около 10 мкг/л, в воде морей и океанов – всего около 1 мкг/л¹. В почвах содержание мышьяка обычно составляет от 0,1 до 40,0 мг/кг. В области залегания мышьяковых руд, а также в вулканических районах в почве может содержаться очень много мышьяка – до 8 г/кг [13].

Повышенные концентрации мышьяка в почве геологической среды могут отрицательно сказаться

на сельскохозяйственных культурах, поскольку мышьяк становится частью пищевой цепи [14]. Геохимический фон в компонентах ландшафтов, окружающих хвостохранилища горнодобывающих предприятий, характеризуется высоким уровнем загрязнения мышьяком (As) – 57–300 мг/кг [15]. В растениях, произрастающих на территории природно-техногенного ландшафта, концентрация As варьируется довольно широко: от значений ниже 0,001 до 847,29 мг/кг. Среднее содержание As в растениях этого ландшафта в 2,7 раза превышает таковое в растениях карьерно-отвального ландшафта и почти в 28 раз – в растениях природного ландшафта [15]. Миграция мышьяка в окружающей среде происходит и в виде летучих мышьякорганических соединений [13].

В живом веществе мышьяка в среднем содержится около 6 мкг/кг. Суточное поступление мышьяка в организм человека весьма незначительное – от 50 до 100 мкг, а период полувыведения составляет 30–60 часов². Попав в организм, мышьяк концентрируется в щитовидной железе, печени, почках, селезенке, легких, костях, волосах, мозговой ткани и в мышцах. Имеются данные о том, что накопление мышьяка в щитовидной железе способствует развитию эндемического зоба [16].

Хронические эффекты мышьяка выражаются в поражении кожи, нейротоксичности, сердечно-сосудистых заболеваниях, диабете и раке. Международным агентством исследований рака (IARC) мышьяк и его неорганические соединения классифицируются как Carcinogenic to Humans (группа I) (IARC, 1980 [17]). Комитетом по загрязнению пищевых продуктов Европейского агентства (EFSA) установлено, что переносимое еженедельное потребление мышьяка (Provisional tolerable weekly intake) не превышает 15 мкг/кг-сут (EFSA contam PANEL, 2009³ [18]).

Геометрические средние уровни мышьяка в пуповинной крови рожениц – $0,92 \pm 1,01$ нг/мл при $0,43 \pm 0,88$ нг/мл ($n = 296$) у здоровых младенцев [19]. При пероральном однократном воздействии мышьяковистого ангидрида в дозе 30 мг/кг установлено торможение процесса элиминации мышьяка из организма, что совпадает с порогом острого действия мышьяковистого ангидрида по изменению содержания SH-групп крови⁴.

¹ Турбинский В.В. Гигиенические основы санитарной охраны трансграничных и пограничных источников питьевого водоснабжения населения Российской Федерации: дис. ... д-ра мед. наук [Электронный ресурс]. – Новосибирск, 2012. – 376 с. – URL: <http://www.dissercat.com/content/gigienicheskie-osnovy-sanitarnoi-okhrany-transgranichnykh-i-pogranichnykh-istochnikov-pitevo> (дата обращения: 13.02.2018).

² Химический состав российских продуктов: справочник / под ред. И.М. Скурихина. – М.: Дели принт, 2002. – 236 с.

³ Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

⁴ Журули М.О. Изучение токсикокинетики мышьяковистого ангидрида при различных режимах его воздействия на организм с целью гигиенического нормирования: дис. ... канд. мед. наук [Электронный ресурс]. – М., 1984. – 179 с. – URL: <http://www.dissercat.com/content/izuchenie-toksikokinetiki-myshyakovistogo-angidrida-pri-razlichnykh-rezhimakh-ego-vozdeystviya-na-organizm-s-tselyu-gigienicheskogo-normirovaniya> (дата обращения: 19.01.2018).

В организме кур, получающих мышьяк с кормом в дозе 0,5–5,0 мг/кг, содержание мышьяка в мышечной ткани составляло 0,11–0,20 мг/кг, в печени – 0,09–0,12 мг/кг, в почках – 0,09–0,34 мг/кг и в яйцах – 0,12–0,24 мг/кг⁵.

При пероральном введении мышьяка оксида (As_2O_3) в организм овец в дозе 0,5 мг/кг массы животного в течение трех месяцев клинических симптомов интоксикации не наступало. Но в почках, коже, печени и селезенке его накапливалось в количестве 0,2–0,3 мг/кг; в мышечной ткани и легких животного – около 0,12 мг/кг; в сычуге, двенадцатиперстной, тощей и подвздошной кишках животного – около 0,25–0,3 мг/кг [20].

Для эндокринной системы человека токсичными являются высокие концентрации As в питьевой воде – 200–500 мкг/л [21]. У больных сахарным диабетом 2-го типа кумулятивные экспозиции мышьяка с пищей и питьевой водой выше, чем у здоровых лиц [22, 23], что подтверждает необходимость дальнейших исследований роли умеренных и низких доз As в воде (50–200 мкг/л) [24].

На моделях культур клеток животных показано, что мышьяк действует как эндокринный разрушитель. Обнаруживаются нарушения гена экспрессии стероидного рецептора (SR) в клетках, обработанных неорганическим As (арсенит, $iAs (+3)$). Низкие концентрации $iAs (+3)$ (0,1–0,7 мкМ) стимулируют гормониндуцируемую транскрипцию, а более высокие нецитотоксические уровни мышьяка (1–3 мкМ) ингибируют транскрипцию [25].

Сурьма сравнительно мало – $4 \cdot 10^{-5} \%$ – распространена в земной коре, хотя так же, как и мышьяк, может иметь высокие концентрации в отдельных регионах [26]. В природных условиях сурьма обычно имеет валентность +3, реже +5 [27]. Наиболее часто встречаются соединения трехвалентной положительной заряженной сурьмы (сульфиды, тиосоли, антимониты, триоксид), затем трехвалентной отрицательно заряженной (антимониды). Соединения пятивалентной сурьмы в природе встречаются очень редко. Из минералов, содержащих сурьму, наиболее распространенным является сурьмяный блеск (стибит, антимонит) – Sb_2S_3 , находится он в гидротермальных месторождениях в виде жил сурьмяных руд и пластообразных тел [28].

Фоновое содержание сурьмы в верхнем слое почв (в мг/кг): дерново-подзолистые – 0,76, черноземы – 0,99, торфяные – 0,28. В водах рек Сибири (Иртыш, Обь, Томь, Амур) содержание сурьмы составляет 0,0007–0,002 мг/дм³⁵.

Содержание сурьмы в тканях деревьев и кустарников, которые растут в районах рудной минерализации, достигает 7–50 мг/кг сухой массы, при этом ее среднее содержание в наземных частях растений оценивается в 0,06 мг/кг сухой массы. В съедобных

растениях концентрация сурьмы колеблется в пределах 0,02–4,30 мкг/кг сырой массы. Содержание сурьмы в зерне кукурузы и клубнях картофеля не превышает 2 мкг/кг сухой массы, а в травах достигает 29 мкг/кг. Концентрация сурьмы в корневой системе ячменя и льна равняется 122 и 167 мкг/кг сухой массы соответственно, что значительно выше содержания в листьях, где она составляет 10 и 27 мкг/кг сухой массы [28]. По мере увеличения содержания тяжелых металлов в почве до очень высокого уровня концентрация их в различных органах растений увеличивается. Но при этом сохраняется соотношение между содержанием тяжелых металлов в корнях, стеблях, листьях и репродуктивных органах.

Комплексные исследования хранилища сульфидсодержащих отходов Салаирского горно-обогатительного комбината (СГОК) Дюков Лог показали направления миграции дренажных потоков, содержащих повышенные концентрации сурьмы (96 ПДК) и мышьяка (6 ПДК). Установлено, что загрязненные дренажные воды проникают в водоносные горизонты, служащие, в том числе, и для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения [29]. Пастбищные и ландшафтные растения в Кадамжайской биогеохимической сурьменной провинции аккумулируют значительные концентрации сурьмы – в 1,2–16,0 раза выше ПДК.

По данным некоторых исследований сурьма содержится и в человеческом организме: кровь – 0,0033 мг/л; костная ткань – $(0,01–0,6) 10^{-4} \%$; мышечная ткань – $(0,42–19,1) 10^{-6} \%$, токсическая доза – 100 мг. Среднесуточное поступление сурьмы в организм человека с водой и пищей составляет около 50 мкг. Из организма сурьма выводится достаточно медленно [30, 31].

Костные останки серой крысы *Rattus Norvegicus* из погадок ушастой совы, зимующей на территории Ташкента и в прилегающих областях [32], показали наличие сурьмы в концентрации 0,41–0,55 мг/кг, мышьяка – 0,79–0,82 мг/кг.

Путь элиминации сурьмы равным образом связан с валентностью в данном соединении. Так, при добавлении к корму крыс трехоксида сурьмы с мочой ежедневно выводилось 80–100 мкг, а с калом – до 100 мг этого элемента. Пятивалентная же сурьма выделяется в основном с мочой даже при введении ее в желудок [33].

Сурьма (Sb) по своим свойствам близка к мышьяку, установлено угнетающее влияние сурьмы на ферменты, участвующие в углеводном, жировом и белковом обмене. Как и мышьяк, сурьма реагирует с сульфгидрильными группами, обладает токсичными свойствами, возможно, вызывает иммунодефицит [34], нарушает функции различных органов (сердце, почки, ЦНС, печень, легкие, кишечник, лимфатическую систему и др.) [35, 36].

⁵ Чупахина О.К. Токсичность мышьяка для кур и его распределение в органах и тканях птицы: автореф... канд. ветеринарных наук. – М., 1983. – 21с.

Соотношения содержания мышьяка и сурьмы в геологической и биологической средах биогеохимических провинций

Наименование объекта среды	Мышьяк, мг/кг мин–макс среднее	Сурьма, мг/кг мин–макс среднее	Отношение средних As/Sb
Почва	0,1–40,0 10,0	0,28–0,99 0,76	13,1
Вода	0,0007–0,005 0,0029	0,00005–0,0007 0,00037	7,8
Растения (БГХП мышьяка и сурьмы)	57–300 100 0–6,01	7–50 20 0,02–4,3	5,0
Фон	1,4	0,7	2,0
Животные:	0,79–0,82	0,41–0,55	–
– дикие крысы (кости)	0,80	0,47	1,7
– овцы (легкие, почки, мышцы)	0,41–1,54 0,98	6,41–8,08 7,25	0,14
Человек (кровь)	0,43–0,92 0,68	3,3 3,3	0,21
Пороговая токсическая доза, мг/сут	20,0	100,0	0,2
Летальная доза для человека, мг	50–340 180	500–1000 750	0,24

Ингаляционное воздействие аэрозолей сурьмы воздуха рабочей зоны сопровождается увеличением ее концентрации в организме работающих: в крови – с 0,5 до 2,1 мг %; в моче – с 0,86 до 1,86 мг %; в волосах – с 1,6 до 7,8 мг % [37].

Пятикратное внутрибрюшинное введение белым крысам взвеси металлической сурьмы в персиковом масле по 50 мг/кг веса сопровождалось увеличением количества сурьмы в крови у белых крыс ($10,46 \pm 1,22$; $6,58 \pm 0,74$ мг %). Накопление сурьмы в органах составляло: мышцы – $1,49 \pm 0,35$ мг %, легкие – $1,38 \pm 0,2$ мг %, кожа – $1,14 \pm 0,3$ мг % [38].

В организме овец на территории сурьменной биогеохимической провинции содержание сурьмы составляет: сердце – 3,66–12,7 мг/кг, легкие – 4,00–12,16 мг/кг, почки – 2,6–10,2 мг/кг, мышцы 3,6–10,0 мг/кг, при градиенте концентрирования 2,0–2,4 [39]. В Кадамжайской сурьмяной провинции суточное поступление сурьмы в организм человека достигает 8,54 мг, тогда как в фоновом районе – до 1,22 мг в сутки [40], при референтной дозе сурьмы для хронического перорального поступления в организм – 0,0004 мг/кг в сутки. В первую очередь это влияет на содержание глюкозы и холестерина в крови³.

Изучение сурьмяных биогеохимических провинций Ферганской долины показало, что взрослый житель этих провинций с пищевыми продуктами и водой получает за сутки примерно 0,1–0,15 мг сурьмы, что в 10–15 раз выше обычного уровня [41].

Для каждого вида патологии характерна своя специфика элементного состава, уровней концентрирования, в том числе максимальных содержаний и изменение суммарного показателя их накопления [42–44]. Мышьяк и сурьма являются веществами – эндокринными разрушителями [45].

На основании полученных данных о содержании мышьяка и сурьмы в объектах геологиче-

ской и биологической сред получены соотношения As/Sb (таблица).

Полученные соотношения показывают, что существует обратная картина преобладания содержания мышьяка над сурьмой в объектах геологической окружающей среды в 2–13 раз и, наоборот, преобладание содержания сурьмы над мышьяком в биологической среде организма – в 5–20 раз. В костной ткани, как и в геологической среде, преобладает содержание мышьяка над сурьмой – в 1,7 раза.

Преобладание содержания сурьмы над мышьяком в организме происходит на фоне того, что сурьма менее токсична, чем мышьяк.

Таким образом, растения характеризуются меньшей избирательностью и в условиях биогеохимической аномалии легко накапливают в своем составе токсичный мышьяк, тогда как животные избирательно ограничивают его накопление в организме, поглощая в большей мере менее токсичную сурьму. Соответственно, на территориях биогеохимических провинций по содержанию мышьяка и сурьмы медико-профилактические мероприятия по минимизации рисков здоровью населения необходимо осуществлять, учитывая особенности накопления этих элементов в организме теплокровных животных и человека. С учетом этих особенностей должны формироваться и программы углубленных исследований в рамках гигиенических исследований, экспертиз. Исследования должны включать: анализ путей и химических форм миграции элементов в окружающей среде, установление молекулярных механизмов проникновения элементов в клетку и условий различных сценариев их метаболизма и биологической эффективности.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-05-00056).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Проблемы адаптации детей и подростков в условиях Восточной Сибири: монография / Н.В. Ефимова, И.В. Мыльникова, О.Ю. Катульская, М.П. Дьякович. – Иркутск: РИО ГБОУ ДПО ИГМАПО, 2012. – 140 с.
2. Качество жизни, связанное со здоровьем: оценка и управление / М.П. Дьякович, В.С. Рукавишников, П.В. Казакова, И.А. Финогенко, Е.П. Бокмелдер, И.Ю. Соловьева; под ред. В.С. Рукавишникова. – Иркутск: НЦРВХ СО РАМН, 2012. – 168 с.
3. Актуальные проблемы профилактической медицины в Уральском регионе / В.Б. Гурвич, Э.Г. Плотно, С.В. Кузмин, К.П. Селянкина, В.В. Рыжов, Н.П. Макаренко, В.Г. Надеенко // Сборник научных трудов и научно-практических работ, посвященный 80-летию Госсанэпидслужбы России. – Екатеринбург, 2002. – С. 76–81.
4. Ковалевский А.Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 172 с.
5. Авцын А.П. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
6. Трахтенберг И.М. Нарушение химического равновесия как причина болезней [Электронный ресурс] // Здоров'я України: медичинський портал. – URL: <http://www.health-ua.com> (дата обращения: 04.02.2018).
7. Взаимодействие человека с природной средой – важнейший фактор существования цивилизации: итогам года экологии в России посвящается / В.И. Осипов, О.Е. Аксютин, А.Г. Ишков, В.А. Грачев // Вестник Российской академии наук. – 2018. – Т. 88, № 2. – С. 99–106. DOI: 10.7868/S0869587318020019
8. Ивантер В.В. Перспективы восстановления экономического роста в России // Вестник Российской академии наук. – 2017. – Т. 87, № 1. – С. 15–28.
9. Сурьма / С.М. Мельников, А.А. Розловский, А.М. Шуклин [и др.]; под ред. С.М. Мельникова. – М.: Metallurgia, 1977. – 535 с.
10. Солодухина М.А., Юргенсон Г.А. Сурьма в степных почвах, технозомах и *artemisia gmelinii* weber ex stechm шерловгорского рудного района (Восточное Забайкалье) // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 4. – С. 114–119.
11. Hoet P., Lauwerys R. Металлы и металлоорганические соединения [Электронный ресурс]. – URL: <http://base.safework.ru/iloenc?navigator&spack=110LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D857400033%26listid%3D010000000100%26listpos%3D2%26listsz%3D6%26nd%3D857400033%26nh%3D1%26> (дата обращения: 29.01.2018).
12. Тиоловые яды, механизм действия [Электронный ресурс]. – URL: <https://studopedia.org/5-77519.html> (дата обращения: 11.02.2018).
13. Мышьяк в природе [Электронный ресурс] // Vuzlit.ru. – URL: https://vuzlit.ru/740028/myshyak_prirode (дата обращения: 18.02.2018).
14. Schwarzkopfova K., Farago T., Jurković L. Mobilization of arsenic from technosols in a short-term dynamic column experiment [Электронный ресурс] // Toxicological & Environmental Chemistry. – URL: <https://doi.org/10.1080/02772248.2018.1443339> (дата обращения: 22.03.2018).
15. Михайлова Л.А., Солодухина М.А. Природные и антропогенные геохимические аномалии Забайкальского края // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 5. – С. 310.
16. Токсиколого-гигиеническая характеристика мышьяка [Электронный ресурс] // МагаЛекции. – URL: <https://megalektsii.ru/s43057t1.html> (дата обращения: 21.03.2018).
17. IARC on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans: Sorne Antineoplastic and Immunosuppressive Agent // World Health Organization; International Agency for Research on Cancer. – Lyon, 1981. – Vol. 26. – 396 p.
18. Scientific Opinion on Arsenic in Food // EFSA Journal. – 2009. – Vol. 7, № 10. – P. 1351. DOI: 10.2903/j.efsa.2009.1351
19. Individual heavy metal exposure and birth outcomes in Shenqiu county along the Huai River Basin in China / Z. Lin, X.Chen, Z. Xi, S. Lin, X. Sun, X. Jiang, H. Tian [Электронный ресурс] // Toxicology Research. – 2018. – № 3. – URL: <http://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2018/TX/C8TX00009C#!divAbstract> (дата обращения: 21.04.2018).
20. Жуленко В.Н., Голубицкая А.В. Экспресс-методы определения металлосодержащих соединений и мышьяка в биоматериале, кормах. – Обнинск, 1992. – 15 с.
21. Exposure to arsenic in drinking water is associated with increased prevalence of diabetes: a cross-sectional study in the Zimapán and Lagunera regions in Mexico / L.M. Del Razo, G.G. Garcia-Vargas, O.L. Valenzuela, E.H. Castellanos, L.C. Sánchez-Peña, J.M. Currier, Z. Drobná, D. Loomis, M. Stýblo // Environmental Health. – 2011. – № 10. – P. 73–80. DOI: 10.1186/1476-069X-10-73
22. Хамитова Р.Я. Химический фактор в развитии эндокринных болезней // Гигиена и санитария. – 2015. – № 8. – С. 12–16.
23. A preliminary assessment of low level arsenic exposure and diabetes mellitus in Cyprus / K.C. Makris, C.A. Christophi, M. Paisi, A.S. Ettinger // BMC Public Health. – 2012. – № 12. – P. 334.
24. Low-level population exposure to inorganic arsenic in the United States and diabetes mellitus: a reanalysis / C. Steinmaus, Y. Yuan, J. Liaw, A.H. Smith // Epidemiology. – 2009. – Vol. 20, № 6. – P. 807–815.
25. Monomethylated trivalent arsenic species disrupt steroid receptor interactions with their DNA response elements at non-cytotoxic cellular concentrations / J.A. Gosse, V.F. Taylor, B.P. Jackson, J.W. Hamilton, J.E. Bodwell // J. Appl Toxicol. – 2014. – Vol. 34, № 5. – P. 498–505. DOI: 10.1002/jat.2898.
26. О влиянии сурьмы на организм человека (краткий обзор литературы) [Электронный ресурс] // DocPlayer.ru. – URL: <https://docplayer.ru/82958586-O-vliyaniye-surmy-na-organizm-cheloveka-kratkiy-obzor-literatury.html> (дата обращения: 15.02.2018).
27. Распределение сурьмы в системе «почва – растение» [Электронный ресурс] // Geolike.ru. – URL: http://geolike.ru/page/gl_1357.htm (дата обращения: 22.01.2018).
28. Биохимия и токсикология соединений мышьяка, сурьмы и висмута [Электронный ресурс] // AllBest. – URL: https://otherreferats.allbest.ru/chemistry/00131620_0.html (дата обращения: 22.04.2018).
29. Кубатбеков Т.С., Айтматов М.Б., Ибраимакунов М. Сурьма в природно-техногенных условиях биосферы: вода, почва, растения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2012. – № 4. – С. 56–60.
30. Определение состава горно-рудных отходов геохимическими и геофизическими методами (на примере хвостохранилища Салаирского горно-обогатительного комбината) / М.И. Эпов, Н.В. Юркевич, С.Б. Бортникова, Ю.Г. Карин, О.А. Саева // Геология и геофизика. – 2017. – № 12. – С. 1944–1954.

31. Ершов Ю.А., Плетенева Т.В. Механизмы токсического действия неорганических соединений. – М.: Медицина, 1989. – 271 с.
32. Гашев С.Н., Быкова Е.А. Особенности накопления микроэлементов в организме мелких млекопитающих в условиях урбанизации // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 1–4. – С. 1144–1148.
33. Левин Э.Н. Общая токсикология металлов. – Л.: Медицина, 1972. – 183 с.
34. Макдермотт М. Секреты эндокринологии: пер. с англ. – М. – СПб: Бином, Невский диалект, 2000. – 464 с.
35. Сурьма. «Рвотный камень» [Электронный ресурс]. – URL: <http://pharmacognosy.com.ua/index.php/makro-i-mikro-chudes/surma-rvotnyy-kamen> (дата обращения: 21.12.2017).
36. Клиническая микроэлементология. Сурьма [Электронный ресурс]. – URL: www.microelement.ru/uslovno-toksichnye/99-surma.html (дата обращения: 21.03.2018).
37. Чонбашева Ч.К., Сулайманова Ч.Т. Хроническая сурьмяная интоксикация у работников современного производства Кыргызстана // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. – 2014. – Т. 14, № 5. – С. 188–190.
38. К вопросу накопления сурьмы в крови и некоторых органах крыс с привитой опухолью саркома-45 (материал и методика) [Электронный ресурс] // Medchitalka: медицинская библиотека. – URL: http://www.medchitalka.ru/voprosy_klinicheskoy_i_eksperimentalnoy_onkologii/voprosy_eksperimentalnoy_onkologii/3147.html (дата обращения: 15.03.2018).
39. Кубатбеков Т.С., Айтматов М.Б., Ибраимакунов М. Кумуляция сурьмы в биосредах овец, содержащихся вблизи сурьмякомбината // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2013. – № 2. – С. 45–50.
40. Растениеводство / Г.С. Посыпанов, В.Е. Долгодворов, Б.Х. Жеруков [и др.]; под ред. Г.С. Посыпанова. – М.: Колос, 2006. – 612 с.
41. Эндемии и эндемические заболевания. Эндемия сурьмы [Электронный ресурс]. – URL: <http://belki.com.ua/minerali-endemia.html> (дата обращения: 27.02.2018).
42. Элементный состав органов и тканей человека / Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, Т.Н. Игнатова, А.Ф. Судыко, Г.П. Сандиминова, Н.Н. Пахомова // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2009. – Т. 9, № 1. – С. 67–77.
43. Химический элементный состав органов и тканей человека и его экологическое значение / Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, Т.Н. Игнатова, А.Ф. Судыко, Г.П. Сандиминова, Н.Н. Пахомова // Геохимия. – 2011. – № 7. – С. 779–784.
44. Fernando Barbosa Jr. Toxicology of metals and metalloids: Promising issues for future studies in environmental health and toxicology // Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. – 2017. – Vol. 80, № 3. – P. 137–144. DOI: 10.1080/15287394.2016.1259475
45. Хаидулина Х.Х., Дорофеева Е.В. Эндокринные разрушители (Endocrine Disrupters). Современное состояние проблем // Токсикологический вестник. – 2013. – № 2. – С. 51–54.

Турбинский В.В., Бортникова С.Б. О соотношении мышьяка и сурьмы в биогеохимических провинциях как факторов риска здоровью // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 3. – С. 136–143. DOI: 10.21668/health.risk/2018.3.15

UDC 550.47

DOI: 10.21668/health.risk/2018.3.15.eng

Read
online



PROPORTIONS OF ARSENIC AND ANTIMONY IN BIOGEOCHEMICAL PROVINCES AS HEALTH RISK FACTORS

V.V. Turbinsky¹, S.B. Bortnikova²

¹Novosibirsk State Medical University, 52 Krasny Prospekt, Novosibirsk, 630091, Russian Federation

²Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 3 Koptugavenue, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

To perform efficient activities aimed at managing population health risks, it is necessary to examine regularities related to distribution of chemical elements in the biosphere; especially in so called biogeochemical provinces of natural or technogenic origin. We used semimetals of arsenic and antimony as an example to show that similarity of their physical and chemical properties is accompanied with similar effects they produce on living organisms. However, amphoteric character of arsenic and antimony determines wide range of possible interactions between these elements and biological molecules in a body. As a result, combined influence exerted by these substances on living organisms leads to both antagonistic relations and competition between them and to synergy as well. Basing on reviewed literature data, we showed that animals selectively limited accumulation of arsenic in their bodies and consumed less toxic antimony in greater quantities in case of biochemical anomalies while plants were much less selective and accumulated toxic arsenic easily. Accordingly, any activities aimed at population health risk reduction that are to be performed on territories of biogeochemical provinces should take into account peculiarities related to accumulation of these elements in bodies of warm-blooded animals and people. These peculiarities should also be taken into account when hygienic research programs and hygienic inspections are drawn up.

When such research is performed experts should do the following: to analyze ways and chemical forms of elements migration in the environment; to determine molecular mechanisms of elements penetration into a cell and conditions of various scenarios of their metabolism and biological efficiency.

Key words: arsenic and antimony compounds, biogeochemical provinces, biogeocenosis, population health, medical and prevention activities.

References

1. Efimova N.V., Myl'nikova I.V., Katul'skaya O.Yu., D'yakovich M.P. Problemy adaptatsii detei i podrostkov v usloviyakh Vostochnoi Sibiri: monografiya [Issues related to adaptation of children and teenagers in eastern Siberia: Monograph]. Irkutsk, RIO GBOU DPO IGMAPO Publ., 2012, 140 p. (in Russian).
2. D'yakovich M.P., Rukavishnikov V.S., Kazakova P.V., Finogenko I.A., Bokmel'der E.P., Solov'eva I.Yu. Kachestvo zhizni, svyazannoe s zdorov'em: otsenka i upravlenie [Health-related life quality: assessment and management]. In: V.S. Rukavishnikov. Irkutsk, NTsRVKh SO RAMN Publ., 2012, 168 p. (in Russian).
3. Gurvich V.B., Plotko E.G., Kuzmin S.V., Selyankina K.P., Ryzhov V.V., Makarenko N.P., Nadeenko V.G. Aktual'nyye problemy profilakticheskoy meditsiny v Ural'skom regione [Vital issues of preventive medicine in the Urals]. *Sbornik nauchnykh trudov i nauchno-prakticheskikh rabot, posvyashchennykh 80-letiyu gosstanepidsluzhby Rossii*. Ekaterinburg, 2002, p. 76–81 (in Russian).
4. Kovalevskii A.L. Biogekhimicheskoe poiskirodnykh mestorozhdenii [Biogeochemical searching for ore deposits]. The 2nd ed. Moscow, Nedra Publ., 1984, 172 p. (in Russian).
5. Avtsyn A.P. Mikroelementozycheloveka: etiologiya, klassifikatsiya, organopatologiya [Human microelementosis: etiology, classification, and organopathology]. Moscow, Meditsina Publ., 1991, 496 p. (in Russian).
6. Trakhtenberg I.M. Narusheniye khimicheskogo ravnovesiya kak prichina bolezni [Chemical balance disorder as a cause of diseases]. *Zdorov'ya Ukraini: meditsinskii portal*. Available at: <http://www.health-ua.com> (04.02.2018) (in Russian).
7. Osipov V.I., Aksyutin O.E., Ishkov A.G., Grachev V.A. Vzaimodeistvie cheloveka s prirodnoi sredoi – vazhneishii faktor sushchestvovaniya tsivilizatsii itogam goda ekologii v rossiiposvyashchaetsya [Interaction between a man and the environment as a vital factor of civilization existence: dedication to the results of the Environmental Year in Russia]. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 2018, vol. 88, no. 2, pp. 99–106. DOI: 10.7868/S0869587318020019 (in Russian).
8. Ivanter V.V. Perspektivy vosstanovleniya ekonomicheskogo rosta v Rossii [Prospects for recovery of economic growth in Russia]. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 2017, vol. 87, no. 1, pp. 15–28 (in Russian).
9. Mel'nikov S.M., Rozlovskii A.A., Shuklin A.M. [et al.]. Sur'ma [Antimony]. In: S.M. Mel'nikov ed. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977, 535 p. (in Russian).
10. Solodukhina M.A., Yurgenson G.A. Sur'ma v stepnykh pochvakh, tekhnosel'nykh i artemisiyakh [Antimony in the steppe soils, technoself and artemisiyakh]. *Uspekhi sovremennoy estestvoznaniya*, 2017, no. 4, pp. 114–119 (in Russian).
11. Hoet P., Lauwerys R. Metally i metalloorganicheskie soedineniya [Metals and metal-organic compounds]. Available at: <http://base.safework.ru/iloenc?navigator&spack=110LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D857400033%26listid%3D01000000100%26listpos%3D2%26lsz%3D6%26nd%3D857400033%26nh%3D1%26> (29.01.2018) (in Russian).
12. Tioloveyady, mekhanizmy deistviya [Thiol poisons, action mechanisms]. Available at: <https://studopedia.org/5-77519.html> (11.02.2018) (in Russian).
13. Mysh'yak v prirode [Arsenic in nature]. *Vuzlit.ru*. Available at: https://vuzlit.ru/740028/myshyak_prirode (18.02.2018) (in Russian).
14. Schwarzkopfova K., Farago T., Jurkovič L. Mobilization of arsenic from technosols in a short-term dynamic column experiment. *Toxicological & Environmental Chemistry*. Available at: <https://doi.org/10.1080/02772248.2018.1443339> (22.03.2018).
15. Mikhailova L.A., Solodukhina M.A. Prirodnye i antropogennye geokhimicheskie anomalii Zabaikal'skogo kraia [Geochemical environment and public health in the Zabaykalye region]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2016, no. 5, p. 310 (in Russian).
16. Toksikologo-gigienicheskaya kharakteristika mysh'yaka [Toxicological and hygienic characteristics of arsenic]. *Maga Lektsii*. Available at: <https://megalektsii.ru/s43057t1.html> (21.03.2018) (in Russian).
17. IARC on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans: Some Antineoplastic and Immunosuppressive Agent. *World Health Organization; International Agency for Research on Cancer*. Lyon, 1981, vol. 26, 396 p.
18. Scientific Opinion on Arsenic in Food. *EFSA Journal*, 2009, vol. 7, no. 10, pp. 1351. DOI: 10.2903/j.efsa.2009.1351
19. Lin Z., Chen X., Xi Z., Lin S., Sun X., Jiang X., Tian H. Individual heavy metal exposure and birth outcomes in Shenqiu county along the Huai River Basin in China. *Toxicology Research*, 2018, no. 3. Available at: <http://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2018/TX/C8TX00009C#!divAbstract> (21.04.2018).
20. Zhulenko V.N., Golubitskaya A.V. Ekspres-metody opredeleniya metallosoderzhashchikh soedinenii mysh'yaka v biomaterialakh, kormakh [Express-tests for determining metal-containing compounds and arsenic in biological materials and feed-stuffs]. Obninsk, 1992, 15 p. (in Russian).
21. Del Razo L.M., Garcia-Vargas G.G., Valenzuela O.L., Castellanos E.H., Sánchez-Peña L.C., Currier J.M., Drobná Z., Loomis D., Stýblo M. Exposure to arsenic in drinking water is associated with increased prevalence of diabetes: a cross-sectional study in the Zimapán and Lagunera regions in Mexico. *Environmental Health*, 2011, no. 10, pp. 73–80. DOI: 10.1186/1476-069X-10-73

© Turbinsky V.V., Bortnikova S.B., 2018

Viktor V. Turbinsky – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor at Hygiene and Ecology Department (e-mail: vvturbinski@mail.ru; tel.: +7 (913) 776-37-58).

Svetlana B. Bortnikova – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of Geoelectrochemistry Laboratory (e-mail: BortnikovaSB@ipgg.sbras.ru; tel.: +7 (383) 363-91-95).

22. Khamitova R.Ya. Khimicheskii faktor v razvitiі endokrinnykh boleznei [Chemical factor in the development of endocrine diseases]. *Gigiena i sanitariya*, 2015, no. 8, pp. 12–16 (in Russian).
23. Makris K.C., Christophi C.A., Paisi M., Ettinger A.S. Preliminary assessment to flow levels arsenic exposure and diabetes mellitus in Cyprus. *BMC Public Health*, 2012, no. 12, pp. 334.
24. Steinmaus C., Yuan Y., Liaw J., Smith A.H. Low-level population exposure to inorganic arsenic in the United States and diabetes mellitus: a reanalysis. *Epidemiology*, 2009, vol. 20, no. 6, pp. 807–815.
25. Gosse J.A., Taylor V.F., Jackson B.P., Hamilton J.W., Bodwell J.E. Monomethylated trivalent arsenic species disrupt steroid receptor interactions with their DNA response elements at non-cytotoxic cellular concentrations. *J. Appl Toxicol.*, 2014, vol. 34, no. 5, pp. 498–505. DOI: 10.1002/jat.2898
26. O vliyaniі sur'my na organizm cheloveka (kratkii obzor literatury) [On influence exerted by antimony on a human body (short literature review)]. *DocPlayer.ru*. Available at: <https://docplayer.ru/82958586-O-vliyanie-surmy-na-organizm-cheloveka-kratkiy-obzor-literatury.html> (15.02.2018) (in Russian).
27. Raspredeleniі sur'my v sistemě pochva-rasteniі [Distribution of antimony in plant-soil system]. *Geolike.ru*. Available at: http://geolike.ru/page/gl_1357.htm (22.01.2018) (in Russian).
28. Biokhimiya i toksikologiya soedinenii mysh'yaka, sur'my i vismuta - [Biochemistry and toxicology of arsenic, antimony and bismuth compounds]. *AllBest*. Available at: https://otherreferats.allbest.ru/chemistry/00131620_0.html (22.04.2018) (in Russian).
29. Kubatbekov T.S., Aitmatov M.B., Ibraimkunov M. Sur'ma v prirodno-tekhnogennykh usloviyakh biosfery: voda, pochva, rasteniya [Antimony in natural-technogenic conditions of the biosphere: water, soil, plants]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*, 2012, no. 4, pp. 56–60 (in Russian).
30. Epov M.I., Yurkevich N.V., Bortnikova S.B., Karin Yu.G., Saeva O.A. Opredeleniye sostava gorno-rudnykh otkhodov geokhimicheskimi i geofizicheskimi metodami (na primere khvostokhranilishcha Salairskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata) [Analysis of mine waste by geochemical and geophysical methods (a case study of the mine tailing dump of the Salair ore-processing plant)]. *Geologiya i geofizika*, 2017, no. 12, pp. 1944–1954 (in Russian).
31. Ershov Yu.A., Pleteneva T.V. Mekhanizm y toksicheskogo deistviya neorganicheskikh soedinenii [Toxic action mechanisms of non-organic compounds]. *Moscow, Meditsina Publ.*, 1989, 271 p. (in Russian).
32. Gashev S.N., Bykova E.A. Osobennosti nakopleniya mikroelementov v organizme melkikh mlekopitayushchikh v usloviyakh urbanizatsii [Peculiarities of microelements accumulation in the organism of small mammals in the urbanization conditions]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 1–4, pp. 1144–1148 (in Russian).
33. Levin E.N. Obshchaya toksikologiya metallov [Common toxicology of metals]. *Leningrad, Meditsina Publ.*, 1972, 183 p. (in Russian).
34. Makdermott M. Sekrety endokrinologii [Secrets of endocrinology]. *Moscow–St. Petersburg, Binom, Nevskii dialekt*, 2000, 464 p. (in Russian).
35. Sur'ma «Rvotnykamen» ["Emetic stone" antimony]. Available at: <http://pharmacognosy.com.ua/index.php/makro-i-mikro-chudesasurma-rvotnykamen> (21.12.2017) (in Russian).
36. Klinicheskaya mikroelementologiya. Sur'ma [Clinical microelementology. Antimony]. Available at: www.microelement.ru/uslovno-toksichnye/99-surma.html (21.03.2018) (in Russian).
37. Chonbasheva Ch.K., Sulaimanova Ch.T. Khronicheskaya sur'myanaya intoksikatsiya u rabotnikov sovremennogo proizvodstva Kyrgyzstana [Chronic intoxication with antimony in workers employed at contemporary productions in Kyrgyzstan]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiiskogo slavyanskogo universiteta*, 2014, vol. 14, no. 5, pp. 188–190 (in Russian).
38. K voprosu nakopleniya sur'my v krovi i nekotorykh organakh krysa s privivoy sarkoma-45 (material i metody) [On accumulation of antimony in blood and some organs of rats with induced sarcoma-45 (data and methods)]. *Medchitalka: meditsinskaya biblioteka*. Available at: http://www.medchitalka.ru/voprosy_klinicheskoy_i_eksperimentalnoy_onkologii/voprosy_eksperimentalnoy_onkologii/3147.html (15.03.2018) (in Russian).
39. Kubatbekov T.S., Aitmatov M.B., Ibraimkunov M. Kumulyatsiya sur'my v biosredokhove, soderzhashchikh syavblizisur'makombinata [Accumulation of antimony in bioenvironment of sheeps contained in the vicinity of antimony combine]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*, 2013, no. 2, pp. 45–50 (in Russian).
40. Posypanov G.S., Dolgodvorov V.E., Zherukov B.Kh. [et al.]. Rasteniyevodstvo [Crop production]. In: G.S. Posypanov ed. *Moscow, Kolos Publ.*, 2006, 612 p. (in Russian).
41. Endemii i endemichekie zabolovaniya. Endemiyasur'my [Endemias and endemic diseases. Antimony endemia]. Available at: <http://belki.com.ua/minerali-endemia.html> (27.02.2018) (in Russian).
42. L. Rikhvanov. P., Baranovskaya N.V., Ignatova T.N., Sudyko A.F., Sandimirova G.P., Pakhomova N.N. Elementny I sostav organov I tkanei cheloveka [Elemental structure of human organs and tissues]. *Problemy biogeokhimii I geokhimicheskoi ekologii*, 2009, vol. 9, no. 1, pp. 67–77 (in Russian).
43. Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V., Ignatova T.N., Sudyko A.F., Sandimirova G.P., Pakhomova N.N. Khimicheskii elementny I sostav organov I tkanei cheloveka i ego ekologicheskoe znachenie [Trace elements in human organs and tissues and their significance for environmental monitoring]. *Geokhimiya*, 2011, no. 7, pp. 779–784 (in Russian).
44. Fernando Barbosa Jr. Toxicology of metals and metalloids: Promising issues for future studies in environmental health and toxicology. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 2017, vol. 80, no. 3, pp. 137–144. DOI: 10.1080/15287394.2016.1259475
45. Khaidulina Kh.Kh., Dorofeeva E.V. Endokrinnye razrushiteli (Endocrine Disruptors). *Sovremennoe sostoyaniye problem [Endocrine disruptors. Present status of the problem]*. *Toksikologicheskii vestnik*, 2013, no. 2, pp. 51–54.

Turbinsky V.V., Bortnikova S.B. Proportions of arsenic and antimony in biogeochemical provinces as health risk factors. Health Risk Analysis, 2018, no. 3, pp. 136–143. DOI: 10.21668/health.risk/2018.3.15.eng

Получена: 06.06.2018

Принята: 06.09.2018

Опубликована: 30.09.2018