
СВОБОДНАЯ ТРИБУНА

УДК 574

Химические спутники Земли и химические бумеранги: проблемы химической безопасности

В. С. ПЕТРОСЯН

Химический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова,
Воробьевы горы, 1, стр. 3, Москва 119992 (Россия)

E-mail: petros@org.chem.msu.ru

Аннотация

Рассмотрена предложенная автором концепция “химических спутников Земли” – токсичных веществ, попадающих в атмосферу Земли и совершающих разнообразные маршруты до выпадения с дождем или снегом в разных регионах нашей планеты. Также представлена авторская концепция “химических бумерангов” – токсичных веществ, которые используются для решения различных проблем, но затем попадают в организм человека и оказывают негативные эффекты на его здоровье. Обсуждены предложенные автором толкования определений “токсичность”, “экоотоксичность” и “химическая безопасность”, базирующиеся на рассмотрении “химических стрессов” человека, животных и растений.

Ключевые слова: химические бумеранги, химическая безопасность, химические спутники, экотоксичность, полярная дистилляция, приоритетные токсиканты, токсичность

Оглавление

Введение	345
Химические спутники Земли и глобальное загрязнение окружающей среды	346
Моделирование трансграничного переноса	346
Приоритетные тяжелые металлы	347
Приоритетные органические токсиканты	348
Химические спутники и озеро Байкал	348
Металлоорганические токсиканты и проблемы осетровых рыб Северного Каспия	349
“Эффект кузнечика”	350
Полярная дистилляция	350
Разные типы химических спутников Земли	350
Химические бумеранги и здоровье населения	352
Химические стрессы человека и биоты	353
Заключение	358

ВВЕДЕНИЕ

Химическая наука за длительный период своей истории способствовала значительному развитию общества благодаря разнообразному применению большого числа природных и синтетических веществ (углеводородное топ-

ливо, полимеры, удобрения, пестициды, масла, красители, пищевые добавки, косметика, лекарства, растворители и др.). Долгое время казалось, что стремительное внедрение десятков тысяч химических веществ и препаратов, позволившее значительно повысить жизненный комфорт и эффективность

во многих областях человеческой деятельности, будет и дальше беспрепятственно расширять сферу использования различных продуктов химии. Однако уже к середине XX века возникли серьезные экологические проблемы и стало очевидно, что использование многих химических веществ приводит к значительной биодеградации водных и терристриальных экосистем, ярко выраженному уменьшению биоразнообразия и существенному ухудшению здоровья человека.

В качестве первого примера можно привести нефтяные углеводороды (бензин, керосин, дизельное топливо), при сжигании которых образуются и поступают в окружающую среду канцерогенный бенз(а)пирен, вызывающий гипоксию (кислородное голодание) монооксид углерода и влияющий на глобальное изменение климата диоксид углерода.

К другим примерам относятся:

1) полихлорированные бифенилы (ПХБ), используемые в качестве термостойких добавок к маслам трансформаторов и конденсаторов и обладающие сильными негативными эффектами на здоровье человека;

2) поливинилхлорид (ПВХ), сжигание остатков которого приводит к образованию и накоплению в биосфере очень устойчивых и одних из самых токсичных веществ – полихлорированных дибензодиоксинов (ПХДД) и дибензофуранов (ПХДФ);

3) азотсодержащие удобрения, приводящие к накоплению в организмах людей нитрат-ионов, которые легко трансформируются в токсичные нитрит-ионы и способствуют образованию канцерогенных нитрозаминов;

4) хлорорганические пестициды, включая ДДТ и продукты диенового синтеза, вызывающие раковые и другие заболевания;

5) производные алкилфенолов, используемые в стиральных порошках и моющих средствах и негативно влияющие на репродуктивное здоровье как женских, так и мужских организмов;

6) броморганические антивоспламенители, добавляемые в краски и импрегнируемые в различные материалы, которые при выделении из них разрушают внутренние органы человека;

7) канцерогенная перфтороктановая кислота, используемая для получения перфторированных полимеров, которые применяются в качестве антипригарных покрытий в кухонной посуде;

8) фреоны, использовавшиеся долгое время в качестве хладагентов и разрушающие внутренние органы людей, а также защитный озоновый слой Земли.

И этот список, к сожалению, можно значительно расширить.

Ниже подробно рассмотрены предложенные автором ранее [1] концепции “химических спутников Земли” и “химических бумерангов”, а также определения таких понятий, как “токсичность”, “экоотоксичность”, “химические стрессы” и “химическая безопасность”. Эти концепции и определения автора обзора являются оригинальными, т. е. работ других авторов с аналогичными подходами нет.

ХИМИЧЕСКИЕ СПУТНИКИ ЗЕМЛИ И ГЛОБАЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Токсичные вещества попадают в атмосферу с выбросами от автомобилей, промышленных и энергетических предприятий, со свалок промышленных и бытовых отходов, с сельскохозяйственных полей и т. д. В соответствии с розой ветров эти вещества совершают короткие и длинные, включая кругосветные, маршруты, прежде чем выпадают с дождем или снегом в различных регионах нашей планеты. Именно поэтому мы назвали эти вещества “химическими спутниками Земли”. На основании анализа выпадающих осадков и сбросов сточных вод и отходов в водные и терристриальные экосистемы нами сделан вывод о том, что химические спутники Земли вносят существенный вклад в суммарное загрязнение не только атмосферы, но также почв и природных вод, как поверхностных, так и подземных. Следовательно, загрязнение окружающей среды токсичными веществами представляет собой глобальную экологическую проблему. В результате переноса выбросы от источников, расположенных в Азии, Африке или Южной Америке, могут загрязнять атмосферу, почву и воды в Европе и Северной Америке или в Австралии и Антарктиде.

Моделирование трансграничного переноса

Ранее для анализа трансграничного переноса различных химических соединений было

ТАБЛИЦА 1

Примеры существующих глобальных моделей трансграничного переноса различных химических соединений

Название модели	Описание/Область применения	Лит. ссылка
ChemRange	Распределительная модель для оценки трансграничного переноса и стойкости веществ	[2] (Швейцария)
Globo-POP	Многосекторальная модель баланса масс для оценки судьбы веществ в окружающей среде	[3] (Канада)
MPI-MCTM	Многосекторальная модель химического переноса	[4] (Германия)
MSCE-НМ и MSCE-POP	Многосекторальные модели трансграничного переноса и устойчивости тяжелых металлов и стойких органических загрязняющих веществ	[5, 6] (Россия)

предложено несколько качественных и количественных моделей. Некоторые примеры таких глобальных моделей [2–6] приведены в табл. 1. Анализ с использованием этих моделей показывает, что все основные типы химических веществ – органические, неорганические и металлоорганические – могут вести себя как химические спутники Земли.

Приоритетные тяжелые металлы

Рассмотрим объемы антропогенных выбросов тяжелых металлов, например, в странах Европейского Союза. Наиболее типичные данные по выбросам [7] приведены в табл. 2.

Высокий уровень выбросов определяет значительные выпадения этих металлов и, как следствие, высокие концентрации свинца, кадмия и ртути в окружающей среде. Краткий анализ ситуации с этими металлами приведен ниже.

Свинец. Самые высокие концентрации наблюдались в атмосфере Центральной и Восточной Европы (100 нг/м^3). Максимальные уровни в его отложениях достигали 10 мкг/л .

Кадмий. Максимальные уровни загрязнения атмосферы наблюдались в Польше, Чехии и Словакии (3 нг/м^3). Самые высокие концентрации в отложениях достигали 1.4 мкг/л .

Ртуть. Максимальные концентрации (660 г/км^2 в год) наблюдались в атмосфере и отложениях Восточной Германии, Юго-Западной Польши, Центральной России и Восточной Украины.

Важно иметь в виду, что выбросы токсикантов в любой стране обычно загрязняют, прежде всего, территории и акватории этой страны, затем – ближайших соседей, а далее – других стран, расположенных во втором и третьем окружении. Данное утверждение хорошо иллюстрируют примеры выбросов и осадения тяжелых металлов в России [5] (табл. 3).

Из данных табл. 3 со всей очевидностью следует, что, как правило, больше всего тяжелых металлов, попавших с выбросами в атмосферу, выпадает на почву и в воды самой страны-источника выбросов, а дальше уже эти приоритетные тяжелые металлы оседают в соседних странах, а также в странах, расположенных за непосредственными соседями.

ТАБЛИЦА 2

Выбросы тяжелых металлов в странах Европы, т/год

Страны	Свинец	Кадмий	Ртуть
Великобритания	1033	13.0	12.4
Германия	632	11.0	31.0
Испания	944	14.0	18.0
Италия	2174	29.9	13.2
Польша	736	55.4	29.5
Россия	2262	49.0	9.4
Украина	3102	54.0	36.0
Франция	1190	14.0	36.0

ТАБЛИЦА 3

Выпадения тяжелых металлов, выброшенных в атмосферу России, %

Страны-реципиенты	Свинец	Кадмий	Ртуть
Россия	80	66	37
Польша	1	5	1
Украина	8	7	3
Грузия	1	–	–
Чехия	–	1	–
Румыния	–	–	1
Другие	10	21	58

ТАБЛИЦА 4

Стойкие органические загрязнители Стокгольмской Конвенции

Токсиканты	Источники	Эффекты
Хлорорганические пестициды (альдрин, гептахлор, ДДТ, дильдрин, мирекс, токсафен, хлордан и эндрин)	Сельскохозяйственное производство	Возможные канцерогены, эндокринные разрушители
Гексахлорбензол, полихлорированные бифенилы	Промышленность, вооруженные силы, энергетика	Болезни печени, возможные канцерогены, эндокринные разрушители
Полихлорированные дибензодоксины и дибензофураны	Непреднамеренные продукты	Хлоракне, тератогены, канцерогены

Приоритетные органические токсиканты

В 2001 г. большинством стран мира была подписана Стокгольмская конвенция [8], запрещающая производство и использование органических веществ-токсикантов (табл. 4). Дополнительный список стойких токсичных веществ (СТВ) был предложен в рамках проекта ЮНЕП-ГЭФ “Региональная оценка стойких токсичных веществ” [9], который включает следующие вещества: 1–5 – пестициды: атразин, линдан, пентахлорфенол, хлордекон и эндосульфат; 6–14 – промышленные продукты: гексабромбифенил, короткоцепочечные хлорпарафины (КЦХП), октил- и нонилфенолы, олово- и свинецорганические соединения, полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ), полифтороктановая кислота (ПФОА) и ее сульфат (ПФОС), а также фталаты; 15, 16 – непреднамеренные продукты: полиядерные ароматические углеводороды (ПАУ) и ртутьорганические соединения. Начиная с 1-й Межправительственной конференции ООН по стойким органическим загрязнителям (СОЗ) в Пунта-дель-Эсте (Уругвай, 2005 г.), правительства многих стран официально предложили ООН добавить многие из вышеприведенных 16 стойких токсичных веществ (атразин, КЦХП, линдан, ПБДЭ, фталаты, эндосульфат и др.) к списку СОЗ Стокгольмской конвенции.

Химические спутники и озеро Байкал

В рамках проекта, посвященного экотоксикологическим проблемам оз. Байкал, мы показали [10], что байкальская биота загряз-

няется главным образом СТВ, попадающими в озеро либо через атмосферный трансграничный перенос (ПАУ и ПХБ), либо с водами впадающей в озеро р. Селенги (ДДТ и его метаболиты). Полученные экспериментальные данные по биоаккумуляции различных органических экотоксикантов в различных видах байкальской биоты, включая эндемичного байкальского тюленя (нерпу), приведены в табл. 5. В табл. 6 приведены суммарные данные [11] по биоаккумуляции различных органических экотоксикантов в яйцах 16 видов птиц Байкальского региона, на основании которых можно сделать выводы о степени накопления этих токсикантов в трофической цепи: вода – фитопланктон – зоопланктон – рыбы – птицы. Анализ этих данных показывает, что уровень биоаккумуляции ПАУ существенно более высок для таких видов птиц, как *Anas platyrhynchos*, *Podiceps auritus*

ТАБЛИЦА 5

Содержание стойких органических веществ в некоторых видах биоты озера Байкал, нг/г

Биота	ПАУ	ПХБ	ДДТ и его метаболиты
Водоросли	537	–	–
Водные растения	1081	–	–
Фитопланктон	5030	–	–
Зоопланктон	7420	–	–
Карась	63	22	–
Омуть	86	38	–
Голомянка	1018	1170	443
Нерпа-детеныш	312	1710	2200
Нерпа-самка	681	12810	7760
Нерпа-самец	1762	71 074	80 740

ТАБЛИЦА 6

Органические экотоксиканты в яйцах птиц Байкальского региона, мкг/кг

Виды птиц	Сумма ПАУ	Сумма фенолов	Хлорорганика	Сумма нитробензолов	Дибензофуран
<i>Anas platyrhynchos</i>	10 688.9	510.9	412.2	487.0	14.6
<i>Anas acuta</i>	521.8	141.1	619.5	44.7	<5
<i>Anas clypeata</i>	695.9	770.8	13 255.6	313.9	51.5
<i>Aythya fuligula</i>	1150.4	358.9	3155.6	819.0	150.5
<i>Aythya ferina</i>	60.7	364.4	837.7	116.4	12.8
<i>Anser anser</i>	718.4	229.0	874.4	549.5	34.4
<i>Gallus gallus</i> (1)	203.7	282.6	646.3	198.5	137.5
<i>Gallus gallus</i> (2)	416.3	262.2	1297.3	144.9	53.6
<i>Ardea cinerea</i>	490.9	272.4	825.0	184.7	48.2
<i>Larus argentatus</i>	834.7	244.4	336.3	148.5	11.2
<i>Larus canus</i>	939.1	174.8	448.8	96.2	47.0
<i>Sterna hirundo</i>	1266.9	336.8	309.4	133.5	34.4
<i>Larus ridibundus</i>	623.7	572.0	1401.0	75.7	26.5
<i>Vanellus vanellus</i>	688.5	250.2	515.1	285.8	9.2
<i>Podiceps auritus</i>	8349.7	1482.0	583.4	175.4	64.1
<i>Tringa stagnatilis</i>	3893.1	412.8	5549.9	609.7	57.8

и *Tringa stagnatilis*. В то же время максимальные уровни биоаккумуляции фенолов наблюдаются для видов *Podiceps auritus* и *Anas clypeata*. В случае хлорорганических соединений уровень биоаккумуляции максимален для видов *Anas clypeata*, *Tringa stagnatilis* и *Aythya fuligula*. Максимальные суммы нитробензолов обнаружены в организмах птиц видов *Aythya fuligula*, *Tringa stagnatilis*, *Anser anser* и *Anas platyrhynchos*. И, наконец, дибензофуран более всего биоаккумулирован в организмах видов *Aythya fuligula* и *Gallus gallus*.

Таким образом, химические стрессы байкальской биоты происходят с вполне определенными закономерностями для отдельных видов, что и характеризует разную **экоотоксичность** одних и тех же веществ для разных биологических видов. При этом под экоотоксичностью мы подразумеваем следующее: попадающие в растения и организмы животных антропогенные вещества взаимодействуют с наиболее важными молекулами живых организмов, определяющими их нормальный физиологический и психический статус, что приводит к связыванию или разрушению этих биохимических мишеней и, следовательно, вызывает отклонения от нормального функционирования биоты.

Металлоорганические токсиканты и проблемы осетровых рыб Северного Каспия

В выполненном нами проекте показано [12], что типичные для водных экосистем ртутьорганические и оловоорганические экотоксиканты оказывают существенное негативное влияние на физиологические свойства русского осетра (*Asi penser gueldenstaedti* В.), обитающего в северной части Каспийского моря.

На основании полученных экспериментальных данных мы пришли к выводу, что отрицательные эффекты можно объяснить с помощью двух альтернативных механизмов участия металлоорганических экотоксикантов R_nMX_m в биохимических процессах, протекающих в организмах русских осетров (рис. 1).

Один из механизмов (без разрыва связи углерод – металл) основан на общепринятом представлении об электроноакцепторных свойствах металлов и взаимодействии этих металлов с электронодонорными атомами в биохимических мишенях. В результате этого взаимодействия происходит образование молекулярных (если при этом не происходит разрыва связи металла с неорганическим лигандом) или ионных комплексов (если имеет место диссоциация связи металл – неорганический лиганд). В обоих случаях образу-

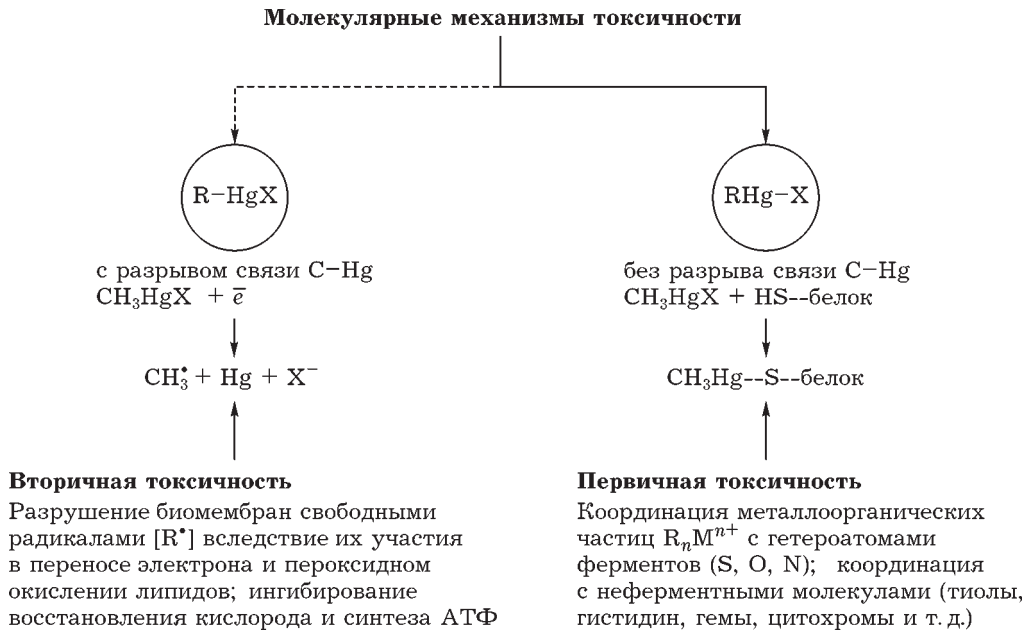


Рис. 1. Участие металлоорганических экотоксикантов в биохимических процессах.

ющиеся комплексы представляют собой существенно модифицированные рецепторы, которые более не могут функционировать так, как это свойственно свободным рецепторам, и поэтому физиологические свойства осетров изменяются.

Альтернативный механизм включает в себя гомолитический разрыв связей металл – углерод в металлоорганических экотоксикантах в процессе комплексообразования металлоорганических экотоксикантов с электронодонорными лигандами. При этом металлоорганических экотоксикантах участвуют в окислительно-восстановительных (или только восстановительных) процессах, которые сопровождаются образованием свободных радикалов. Последние разрушают биологические мембраны в результате их участия в переносе электрона и пероксидном окислении липидов, а также ингибируют восстановление кислорода и синтез АТФ.

“Эффект кузнечика”

Авторы [3] предположили, что химическое вещество после выпадения без разложения на водную или почвенную фазу может обратно попасть в атмосферу и может снова выпасть на поверхность Земли. Эта процеду-

ра может продолжаться до тех пор, пока вещество не разложится (“эффект кузнечика”). Они предположили также, что трансграничный перенос СТВ может происходить в одном из следующих состояний: 1) в виде паров, сорбированных на взвешенных частицах или растворенных во влаге облаков атмосферы; 2) растворенных в воде или сорбированных на частичках донных отложений в водных экосистемах; 3) в тканях мигрирующих животных; 4) как антропогенный перенос в виде продуктов и отходов.

Полярная дистилляция

Исследователями [13] сделан вывод в глобальном масштабе о том, что температурные градиенты в космосе в комбинации с процессом перемешивания в атмосфере способствуют переносу веществ из теплых регионов в холодные. Это приводит к высоким концентрациям СТВ в полярных и высокогорных регионах. Мы предложили называть этот эффект “полярной дистилляцией” [1]. Авторы [3] используют для него термин “холодная конденсация” [14].

Разные типы химических спутников Земли

В концепцию химических спутников Земли и глобального загрязнения биосферы хо-

ТАБЛИЦА 7

Выбросы гексахлорбензола в России

Годы	Выбросы, кг/год
1970	36 092
1975	36 369
1980	24 501
1985	24 376
1990	12 120
1995	10 980

рошо укладываются данные по выбросам и выпадениям приоритетных токсичных веществ, в том числе входящих в список СОЗ Стокгольмской конвенции, а также в список СТВ ЮНЕП и ГЭФ.

Хорошо согласуются с этой концепцией и результаты оценки выбросов гексахлорбензола (ГХБ) в России (табл. 7) [15]. На использование ГХБ в сельском хозяйстве уже давно наложен запрет, однако это высокотоксичное вещество до сих пор используется во многих странах в гражданских (фейерверки) и военных (дымовые завесы) пиротехнических средствах. Следует отметить, что при выпадении из атмосферы ГХБ в основном (89 %) концентрируется в морской среде, существенно меньше – в почве (8 %), воздухе (2.3 %), лесной подстилке (0.6 %) и растительности (0.3 %) [4].

По выбросам ПХБ в конце 90-х годов прошлого столетия Россия находилась примерно на одном уровне с Испанией (около 7 и 8.7 т/г соответственно). Однако, как оказалось, они существенно меньше по сравнению с объемами выбросов ПХБ в Германии (42.5 т/г) [5]. В Европе, в частности в центральных районах кон-

тинента, в тот же период выпадения ПХБ были весьма интенсивны (20 г/км² в год). Суммарный объем выпадений ПХБ для 42 стран составил 113 т/год. Максимальные отложения среди европейских городов наблюдались в Париже (28 г/км² в год). При выпадении из атмосферы ПХБ распределяются примерно в равных количествах в морской среде (31 %), почве (29 %) и лесной подстилке (40 %) [5].

Существенны объемы выпадений в европейских странах бенз(а)пирена [4]. Самые высокие данные для морей (до 3 мкг/м³) получены для вод Черного моря у берегов Грузии, России и Украины, а для вод Балтийского и Северного морей – у берегов Бельгии и Германии. Что касается биоаккумуляции бенз(а)пирена в растительности, то самые высокие значения (более 10 нг/г) получены для Австрии, Бельгии, Боснии и Герцеговины, Грузии, Молдовы, Румынии и бывших республик Югославии. Наибольшие вклады в загрязнение Европы бенз(а)пиреном в 1998 г. внесли Польша, Россия и Украина (28, 91 и 18.6 т/год соответственно, т. е. 90 % от общего количества, выпавшего в Европе). Из данных табл. 8 следует [4], что около половины выбросов бенз(а)пирена из Польши и Украины в итоге осаждаются в других странах, тогда как российские выбросы этого токсиканта в основном (94 %) осаждаются на территории самой России. В то же время, как следует из данных табл. 9, вклады других европейских стран в общий объем выпадения бенз(а)пирена в 1998 г. оказались значительными для Польши, Украины и в меньшей степени – для России [4].

А какова же ситуация с диоксинами? Авторы работы [6] показали (табл. 10), что, как и в случае с ПХБ, основным компонентом

ТАБЛИЦА 8

Трансграничный перенос бенз(а)пирена из Польши, России и Украины

Страны-источники	Страны-реципиенты				
	Объем, кг (%)				
Польша	Беларусь	Польша	Россия	Украина	Другие регионы
	1481 (5)	13 620 (48)	3364 (12)	2172 (8)	7411 (27)
Россия	Казахстан	Россия	Украина	Финляндия	Другие регионы
	1443 (2)	80196 (94)	1782 (2)	1289 (2)	– (-)???
Украина	Беларусь	Россия	Румыния	Украина	Другие регионы
	678 (4)	4580 (25)	644 (3)	9102 (49)	3582 (19)

ТАБЛИЦА 9

Трансграничный перенос бенз(а)пирена в Польшу, Россию и Украину

Страны-реципиенты	Страны-источники					
	Объемы, кг (%)					
Польша	Великобритания	Германия	Польша	Словакия	Чехия	Другие регионы
	7.4 (2)	936 (5)	13 620 (74)	473 (3)	1155 (6)	
Россия	Польша	Россия	Украина			Другие регионы
	3364 (4)	80 196 (83)	4580 (5)			
Украина	Венгрия	Польша	Россия	Румыния		Другие регионы
	397 (2)	2172 (14)	1782 (11)	670 (4)		

окружающей среды, накапливающим ПХДД и ПХДФ, является почва. Расчеты показывают, что около 60 % годового выброса диоксинов и фуранов выносятся за пределы региона, для которого проводятся расчеты. Показано также, что странами с самыми высокими уровнями концентраций ПХДД и ПХДФ в атмосфере являются Чехия (12–52 фг/м³), Швейцария (8–31 фг/м³), Люксембург (23.7 фг/м³), Бельгия (10–27 фг/м³) и Словакия (10–28 фг/м³). Более всего загрязнены этими веществами почвы Люксембурга (15 пг/г), Бельгии (11–22 пг/г), Нидерландов и Германии (0.5–22 пг/г). В табл. 10 приведены данные по выпадениям некоторых приоритетных токсикантов, в том числе и одного из приоритетных – диоксинов, в европейские моря, полученные с помощью модельных расчетов [6].

ХИМИЧЕСКИЕ БУМЕРАНГИ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

Автором предложено называть “химическими бумерангами” такие вещества, которые, будучи “запущенными” в повседневную жизнь для решения позитивных задач (например, хлорорганические пестициды, используемые для повышения урожаев сельскохозяйственных культур; броморганические противовоспла-

менители, предупреждающие самовозгорание электронной бытовой техники; оловоорганические соединения, предупреждающие биообрастание судов в Мировом океане), выполнили на первой половине “петли бумеранга” поставленную задачу. Однако на ее второй половине эти вещества попадают через трофические (пищевые) цепи в организм человека, накапливаются в нем и вызывают поражение центральной нервной и эндокринной систем, новообразования и другие серьезные заболевания. К другим, наиболее важным последствиям, обусловленным действием токсикантов, относятся: генотоксичность, некроз, иммунотоксичность, воспалительные процессы, общая цитотоксичность и гистопатология [1].

В связи с тем что токсические эффекты многих органических, неорганических и металлоорганических веществ в воздухе, воде, почвах, растениях, животных и людях были однозначно доказаны, в развитых странах уже в начале 70-х годов прошлого столетия были приняты законодательные акты, запрещающие использование некоторых токсичных веществ [16]. Достаточно привести пример с ДДТ, за успешное применение которого в борьбе с малярией швейцарскому исследователю Паулю Мюллеру в 1948 г. была присуждена Нобелевская премия по физио-

ТАБЛИЦА 10

Выпадения некоторых органических токсикантов в европейские моря

Органические токсиканты	Средиземное	Балтийское	Северное
Полихлорированные бифенилы, кг/год	1623	715	594
Бенз(а)пирен, т/год	30	7	12
2,3,4,7,8-ПХДФ, г/год	492	65	101

логии и медицине, а уже в 1972 г. ДДТ в развитых странах был запрещен к использованию в связи с доказанной его биоаккумуляцией в живых организмах и токсичном воздействии на них.

Химические стрессы

Химические стрессы человека и биоты (животных, растений) стали рассматривать в развитых странах в качестве важных факторов в рамках национальных стратегий безопасности. Например, в Японии Министерство окружающей среды начиная с 1974 г. проводит систематический мониторинг уровня загрязнения токсичными веществами окружающей среды в целом и водных экосистем в част-

ности [17]. Помимо приоритетных неорганических токсикантов (включая токсичные газы и соли тяжелых металлов (табл. 11)), в последние годы некоторые европейские страны, Канада и США прикладывают значительные усилия для предотвращения дальнейшего загрязнения окружающей среды приоритетными СТВ, включая СОЗ (табл. 12), и металлоорганическими токсикантами (табл. 13).

В США последние два десятилетия разрабатывалась концепция болезни как проявления дисбаланса между окружающей средой и человеком. В связи с этим Агентство токсичных веществ и регистрации болезней (ATSDR) Министерства здравоохранения США обратилось к Национальному научному совету (NRC) с просьбой обосновать эту концепцию

ТАБЛИЦА 11

Основные типы стойких органических загрязнителей (СОЗ), их источники и обусловленные ими стрессы

СОЗ	Основные источники	Типы химических стрессов
Альдрин, атразин, гептахлор, ДДТ, дильдрин, линдан, мирекс, токсафен, хлордан, хлордекон, эндосульфат, эндрин	Хлороорганические и другие пестицидные препараты	Биоаккумуляция в жировых тканях организмов и в трофических цепях, поражение центральной нервной и эндокринной систем, канцерогенез
Гексабромбифенил	Антивоспламенитель для термопластиков	Болезни кожи, выпадение волос, канцерогенез, эндокринные разрушения
Гексахлорбензол	Дымовые завесы, фейерверки	Болезни печени, канцерогенез
Октил- и нонилфенолы	Детергенты, пластификаторы и стабилизаторы резины	Разрушение эндокринной системы
Пентахлорфенолы	Краски, текстиль, пестициды для защиты древесины	Общая токсичность
Полибромированные дифениловые эфиры	Антивоспламенители для полиуретановых составов в матрасах и мебели	Канцерогенез, эндокринные разрушения и препятствие развитию мозга
Полихлорированные бифенилы	Трансформаторные и смазочные масла, пластификаторы	Поражение эндокринной системы и проявление канцерогенеза
Полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны	Микропримеси в ПХБ, хлорфенолах, пестицидах, продуктах сгорания ПВХ и отбеленной целлюлозе	Супертоксичность, проявление тератогенеза и канцерогенеза, поражение кожи (хлоракне), эндокринной, иммунной и репродуктивной систем
Полиядерные ароматические углеводороды	Образуются при неполном сгорании древесины, угля и нефтепродуктов	Канцерогенез
Фталаты	Пластификаторы, репелленты, растворители	Разрушение эндокринной системы

ТАБЛИЦА 12

Основные типы неорганических загрязнителей, их источники и обусловленные ими стрессы

Неорганические загрязнители	Основные источники	Типы химических стрессов
<i>Газы</i>		
CO, NO, NO ₂ , SO ₂ , SO ₃	Выбросы промышленных, энергетических предприятий и автотранспорта	Монооксид углерода обуславливает кислородную недостаточность; оксиды азота и серы вызывают болезни бронхов и легких (хронический бронхит, бронхиальную астму и ишемическую болезнь сердца)
<i>Анионы</i>		
Нитраты и нитриты	Азотные удобрения	Высокие концентрации в питьевой воде вызывают метгемоглобинемию ("синдром голубого ребенка") и приводят к образованию канцерогенных нитрозаминов
<i>Тяжелые металлы</i>		
Алюминий	Сточные воды, посуда и столовые приборы	Негативное воздействие на мозг
Кадмий	Производство цинка и сплавов, гальваника и сигареты	Общая токсичность и канцерогенез
Медь	Кабельное производство, электроника	Общая токсичность
Мышьяк	Пестициды, сплавы, зола	Общая токсичность и канцерогенез
Никель	Сплавы, покрытия, аккумуляторы	Образование раковых опухолей и общая токсичность
Ртуть	Производство щелочи и хлора, добыча золота, электроника, катализ	Высокотоксична и легко накапливается в организмах, проявляя разрушающее воздействие на внутренние органы (почки, печень) и центральную нервную систему
Свинец	Аккумуляторы, керамика, краски	Токсичен, вызывает анемию и психические расстройства
Селен	Электроника, сплавы, стекло	Весьма токсичен
Хром	Катализаторы, краски, сплавы	Cr(VI) канцерогенен и более токсичен, чем Cr(III)
Цинк	Гальваника, сплавы	Менее токсичен по сравнению с остальными приведенными металлами

ТАБЛИЦА 13

Основные типы металлоорганических токсикантов, их источники и обусловленные ими стрессы

Металлоорганические токсиканты	Основные источники	Типы химических стрессов
Метильные производные ртути	Образуются в окружающей среде при метилировании катионов ртути	Разрушение центральной нервной системы, мозга и печени
Оловоорганические соединения	Стабилизаторы ПВХ, катализаторы, краски для судов и подводных конструкций	Разрушение мозга триметильными и триэтильными производными олова
Алкильные производные свинца	Антидетонационные добавки к топливу автомобилей	Раковые заболевания дыхательного и пищеварительного трактов

в форме, понятной ученым, законодателям, чиновникам и населению. Была проведена специальная конференция [18] с целью получения ответов на следующие вопросы: “Как люди оказываются подвергнутыми воздействию?”, “На основании чего можно утверждать, что люди оказались подвергнутыми воздействию?” и “Что происходит после воздействия?”.

В последние 20 лет подписано также несколько международных соглашений на уровне ООН, среди которых, безусловно, следует отметить следующие: Базельскую конвенцию по токсичным отходам [19]; Парижскую конвенцию по уничтожению химического оружия [20]; Монреальский протокол по защите озонового слоя [21], в соответствии с которым были запрещены к производству и использованию разрушающие озоновый слой фреоны; Роттердамскую конвенцию по перевозкам токсичных веществ [22]; Рамочную конвенцию ООН об изменении климата [23] и Киотский протокол по глобальному изменению климата [24], которые предусматривают уменьшение выбросов в окружающую среду “парниковых” газов типа диоксида углерода, метана и др.; Стокгольмскую конвенцию по стойким органическим загрязнителям [8], предполагающую запрещение производства хлорорганических пестицидов, ГХБ и ПХБ, а также технологий, использование которых приводит к выбросам в окружающую среду чрезвычайно токсичных полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов.

В принятой на Межправительственной конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. “Повестке дня на XXI век” [25] глава 19 целиком посвящена повышению безопасности использования химических веществ. В ней отмечается, что сегодня в мире существует около 100 тысяч коммерческих химикатов, однако 95 % мирового химического производства приходится лишь на 1500 веществ. При этом для значительной части этих веществ отсутствуют токсикологические данные, характеризующие опасность их использования, в первую очередь, с точки зрения хронических эффектов.

Созданный в соответствии с решениями Конференции “Рио-92” Межправительственный форум по химической безопасности

(МФХБ) на своих первом (1994 г.) и втором (1997 г.) заседаниях проводил подготовительную работу по выработке Декларации по химической безопасности, которая была принята на третьем заседании в Байе (Бразилия) в 2000 г. [26]. Байская декларация подчеркнула, что знания о последствиях воздействия химических веществ остаются крайне неполными, в связи с чем “необходимо продолжать исследования и проявлять бдительность”. Это необходимо делать еще и потому, что стандарты химической безопасности в значительной части мира не отвечают требованиям по обеспечению адекватной охраны здоровья человека и окружающей среды. Специально подчеркнуто, что для надлежащего использования и уничтожения во всем мире запасов токсичных веществ (в частности, неиспользованных пестицидов) все еще не мобилизованы международные и национальные ресурсы, а международные оценки токсичных веществ не достигли контрольных показателей, установленных в 1994 г.

На прошедшей в 2002 г. в Йоханнесбурге Межправительственной конференции ООН по устойчивому развитию был сделан необнадлежающий вывод о том, что проблема негативного воздействия токсичных веществ на здоровье человека и окружающую среду продолжает усугубляться. Было принято решение регулярно обсуждать эту проблему и совершенствовать стратегические подходы к международному управлению химическими веществами.

При рассмотрении эффектов воздействия на человека токсикантов (см. табл. 11 и 13) становится очевидным, что некоторые из них (пестициды, ГББ, ГХБ, октил- и нонилфенолы, оловоорганические препараты, ПБДЭ, ПХБ, ПХФ, свинецорганические соединения, фталаты) оказывают это воздействие в том виде, в каком они используются человеком. Автор предложил называть эти токсиканты **химическими бумерангами 1-го рода**. Упомянутые в табл. 11 и 13 токсические вещества, которые не используются человеком непосредственно (ПАУ, “метилртуть”, диоксины и фураны), но образуются при использовании других соединений (сжигание топлива, биометилирование в водоемах неорганических солей ртути, горение ПВХ и других хлорорганических соединений на свалках

и при пожарах), предложено называть **химическими бумерангами 2-го рода**.

Следует понимать, что негативные эффекты химических бумерангов определяются в значительной мере их химической природой (электронным и пространственным строением молекул, наличием в них металлов, связанных с органическими и неорганическими лигандами, количеством атомов хлора и другими свойствами). В большинстве случаев, однако, основным фактором, обуславливающим токсическое воздействие и химический стресс, является концентрация токсиканта, попавшего в организм человека.

Чрезвычайно важно также учитывать, что из всей последовательности происходящих в организме процессов – поглощение, биотрансформация, детоксикация, выведение и биоаккумуляция – ключевую роль играет последний, который определяет накопление токсиканта в организме. При этом нужно осознавать, что биоаккумуляция представляет собой накопление токсиканта в организме из всех источников (воздух, вода, пища) и отличается от биоконцентрирования, которое представляет собой только накопление токсиканта из воды.

Сегодня не вызывает сомнений, что к важнейшим источниками химических стрессов населения относятся: продукты питания с попавшими в них токсикантами, хлорированная питьевая вода с различными хлорорганическими соединениями, а также атмосферный воздух, включающий в себя значительные количества высокотоксичных монооксида углерода, оксидов азота и бенз(а)пирена.

Результаты эколого-эпидемиологических исследований [27–40] свидетельствуют о наличии корреляции между химическим загрязнением и здоровьем населения. Для критической оценки негативных эффектов необходимо проводить сравнительный анализ данных, полученных в экспериментах с лабораторными животными, с результатами эколого-эпидемиологических исследований различных воздействий, а также с эффектами, наблюдаемыми среди населения.

Большие сложности вызывают попытки выявить причинно-следственные отношения между воздействием на человека малых доз токсикантов и негативным влиянием на здо-

ровье населения. Отчасти это связано с тем, что в каждый конкретный момент человек оказывается подверженным воздействию широкого круга химических веществ. Так, в тканях человека повсеместно обнаружены заметные количества ПХБ, диоксинов и различных хлорорганических пестицидов, да и загрязнение пищевых продуктов, включая грудное молоко, стало сегодня повсеместным явлением.

В последние годы опубликовано большое количество работ о загрязнении окружающей среды в Российской Федерации приоритетными токсикантами [30–33]. Например, установлено, что самые высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха ПАУ (5–15 нг/м³) наблюдаются в городах Сибири и Урала (Братске, Красноярске, Магнитогорске, Нижнем Тагиле, Новокузнецке, Челябинске и Шелехове), где расположены крупнейшие в мире алюминиевые и сталелитейные заводы.

Суммарные выбросы наиболее канцерогенного ПАУ, бенз(а)пирена, еще 10 лет назад оценивались на уровне 100–200 т/год. Что касается ПХБ, то одним из наиболее печальных примеров является город Серпухов (в 100 км на юг от Москвы), где расположено крупное электротехническое предприятие. В 1988 г. концентрации ПХБ в почвах в 2 км на север от этого завода составляли 35.7 м. д., а в 0.3 км на юг от завода – до 11 000 м. д. В молоке кормящих матерей, живших вблизи от завода, содержание ПХБ варьировалось от 1 093 до 2 392 мкг/л.

На территории Российской Федерации имелось, по крайней мере, две “горячие точки” – г. Чапаевск (Самарская обл.) и Уфа (Республика Башкортостан), в которых большие заводы, выпускавшие хлорорганическую продукцию (преимущественно ПХБ и пестициды), выбрасывали в окружающую среду большие количества диоксинов. Так, в Чапаевске в 1990 г. на заводе по производству пентахлорфенола почвы содержали 18.7 млрд⁻¹ 2,3,7,8-ТХДД (тетрахлордибензодиоксина). В Уфе в 1987 г. концентрации ТХДД в почвах около завода по производству 2,4,5-трихлорфенола достигали 9.6 млрд⁻¹. Уровень загрязнения иловых осадков в р. Белой на расстоянии 150 м от места сброса составлял 4 млрд⁻¹. Измерения уровня диоксинов в главном источнике питьевой воды города, р. Бе-

лой, выявили следующие концентрации: ТХДД – 80 пг/л, гексахлордибензодиоксин – 88 нг/л, гептахлордибензодиоксин – 120 нг/л, октахлордибензодиоксин – 760 нг/л.

Эпидемиологические исследования, проведенные в Чапаевске с 1969 по 1998 гг., показали [28, 30], что для рабочих завода по производству хлорорганических препаратов типичными заболеваниями были хлоракне, эндокринные болезни, гепатит, уменьшение количества сперматозоидов, ослабление иммунной системы, уровень смертности в 17,5 % от злокачественных новообразований. Наиболее типичными были рак легкого и гортани у мужчин и рак груди – у женщин. Среди населения города были весьма распространены спонтанные аборт, поздние гистозы, повышенные концентрации диоксинов в грудном молоке, повышенная частота рождения недоношенных детей, задержка в развитии половых органов у мальчиков, нарушение нормального соотношения при рождении девочек и мальчиков, высокое содержание гормонов в крови мальчиков.

Эпидемиологические исследования, проведенные в Уфе, показали [29], что воздействие на рабочих аналогичных заводов достигало высокого уровня. В частности, они болели хлоракне и другими болезнями, включая спонтанные аборт и половые диспропорции среди новорожденных (с превышением числа девочек над числом мальчиков).

В последние годы установлено [29], что количество диоксинов в сперме мужчин, живущих в промышленных районах Башкортостана, находится на уровне 42,1–182,5 пг/г жира и 67–181 пг/г крови. Эти данные значительно превышают соответствующие уровни для ветеранов американской войны во Вьетнаме и уровень содержания диоксинов в грудном молоке кормящих матерей (8–74 пг/г).

Исследование динамики латентных патологических эффектов на центральную и периферическую нервную систему, обусловленных малыми дозами ртутиорганических соединений (25 человек в течение 2–3 мес. кормили мясомолочными продуктами, содержащими 1–10 нг/г EtHgX), показало рост жалоб, указывающих на патологию гипоталамических структур мозга, и уменьше-

ние жалоб, связанных с патологией периферической нервной системы.

Особую тревогу вызывают химические стрессы у детского населения, что, как теперь стало понятно, приводит к печальной статистике по здоровью детей России. Достаточно привести результаты недавнего исследования, согласно которым загрязнение атмосферного воздуха в г. Прокопьевске определяет более чем на 60 % детскую заболеваемость бронхиальной астмой, пневмонией, болезнями верхних дыхательных путей, анемией и на 50 % сумму экологически значимых заболеваний и врожденной патологии [34].

Таким образом, уже краткое рассмотрение проблемы химических стрессов человека, обусловленных, в первую очередь, химическими бумерангами, показывает приоритетную важность данной проблемы с точки зрения сохранения здоровья человека.

В связи с тем что до сих пор даже на уровне ООН нет общепринятого толкования понятия “химическая безопасность населения”, автор предлагает в данной работе свое определение этого понятия.

Итак, по мнению автора, **химическая безопасность населения это такое положение дел, при котором человек не испытывает химических стрессов, т. е. воздействия приоритетных органических, неорганических и металлоорганических токсикантов осуществляются на безопасном для физиологического и психического состояния человека уровне, в результате чего удается сохранять здоровье населения.**

Для России сегодня, помимо вышеуказанных, остаются актуальными, по крайней мере, еще две проблемы:

1) экологически безопасное уничтожение запасов химического оружия, хранящегося в семи различных регионах страны, для чего необходимо использовать наиболее безопасные технологии, разработанные российскими специалистами;

2) реализация систематического и повсеместного контроля качества пищевых продуктов и питьевой воды, в том числе и бутилированной, а также домашних фильтров доочистки воды, поставляемых в магазины и на рынки страны как российскими, так и зарубежными производителями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современной экологической ситуации химические стрессы населения играют решающую роль в проблеме сохранения здоровья человека. А если к этим химическим стрессам добавить расширяющийся круг физических (радиация, электромагнитные, вибрационные и шумовые воздействия) и биологических (вирусы, бактерии, генетически модифицированные продукты) стрессов, то понятно, что при обсуждении проблемы выживания населения страны в первую очередь необходимо обсудить именно эти факторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Петросян В. С. // Вестн. РАЕН. 2005. Т. 5, № 3. С. 58.
- 2 Scheringer M. // Environ. Sci. Technol. 1996. Vol. 30. P. 1652.
- 3 Wania F., MacKay D. // Environ. Sci. Technol. 1996. Vol. 30. P. 390A.
- 4 Региональная оценка стойких токсичных веществ. Европа, региональный доклад. Издание ГЭФ, 2002.
- 5 Ryaboshapko A., Plyin I., Gusev A., Afinogenova O., Berg T., Hjellbrekke A. G. Joint Report of EMEP Centres: MSC-E and CCC. Moscow, 1999.
- 6 Shatalov V., Malanichev A., Berg T., Larsen R. EMEP Report 4, Parts I–II. Moscow, 2000.
- 7 Plyin I., Ryaboshapko A., Travnikov O., Berg T., Hjellbrekke A. G., Larsen R. EMEP Report 3. Moscow, 2000.
- 8 Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. ЮНЕП, Женева, 2001.
- 9 Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substances. Global Report 2003, UNEP Chemicals, Geneva, 2003.
- 10 Poliakova O. V., Lebedev A. T., Karakhanova N. K., Shmorgunov V. A., Funtov A. V., and Petrosyan V. S. // Water Pollution V: Modelling, Measuring and Prediction / Eds. P. Anagnostopoulos and C. A. Brebbia. WITpress, 1999. P. 419.
- 11 Lebedev A. T., Poliakova O. V., Karakhanova N. K., Petrosyan V. S., Renzoni A. // Sci. Total Environ. 1998. Vol. 212. P. 153.
- 12 Milaeva E., Berberova N., Pellerito L., Pimenov Yu., Petrosyan V. // Appl. Bioinorg. Chem. 2004. Vol. 2. P. 69–91.
- 13 Iwata H., Tanabe S., Sakai N., Tatsukawa R. // Environ. Sci. Technol. 1993. Vol. 27. P. 1080.
- 14 Wania F., MacKay D. // Ambio. 1993. Vol. 22. P. 10.
- 15 Munch J., Axenfeld F. Datenbasis Historischer Emissionen Ausgewahlter Persistenter Organischer Stoffe in Europa (1970–1995). Berlin: Umweltbundesamt, 1995.
- 16 Петросян В. С. // Бюлл. Центра экол. политики. 1999. № 6. С. 16.
- 17 The Environmental Monitoring Report on the Persistent Organic Pollutants (POPs) in Japan. Ministry of Environment, Government of Japan, Tokyo, 2002.
- 18 Frontiers in Assessing Human Exposure to Environmental Toxicants, Report of a Symposium, Washington: National Academy Press, 1991.
- 19 Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, UNEP. Geneva, 1992.
- 20 Парижская конвенция по уничтожению химического оружия. ООН, Нью-Йорк, 1993.
- 21 Монреальский протокол по защите озонового слоя. ООН, Нью-Йорк, 1995.
- 22 Rotterdam Convention on the Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade. UNEP, Geneva, 2005 (Revised).
- 23 Рамочная Конвенция ООН об изменении климата. ЮНЕП, Женева, 1992.
- 24 Киотский протокол по глобальному изменению климата. ЮНЕП, Женева, 1998.
- 25 Программа действий. Повестка дня на 21 век, SRO-Kundig S.A., Женева, 1993.
- 26 Байская декларация по химической безопасности. ВОЗ, Женева, 2000.
- 27 Петросян В. С. // Природа. 2000. № 2. С. 13.
- 28 Клюев Н. А., Курляндский Б. А., Ревич Б. А., Филатов Б. Н. Диоксины в России. / под ред. Б. А. Курляндского. М.: ЮМС, 2001.
- 29 Галимов Ш. Н., Камиллов Ф. Х. Гонадотропные эффекты феноксигербицидов в мужском организме. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2001.
- 30 Ревич Б. А. Загрязнение окружающей среды и здоровье населения. Введение в экологическую эпидемиологию. М.: МНЭПУ, 2001.
- 31 Стойкие органические загрязнители: пути решения проблемы. / В. В. Худолеев, Е. Е. Гусаров, А. В. Клиньский, Г. А. Ливанов, А. А. Старцев. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002.
- 32 Загрязнение окружающей среды и здоровье человека (Печальный опыт России). / Ю. П. Гичев; ред. А. В. Яблоков. М.: Новосибирск: Изд. СО РАМН, 2002.
- 33 Петросян В. С. // 8-я Международная конференция “Экологическая безопасность как ключевой фактор устойчивого развития”. Москва, 2004. С. 20.
- 34 Здоровые дети – будущее России: Сб. материалов / под ред. В. А. Соболева. М.: Центр экореконструкции здоровья “Зеленый дом”, 2004.
- 35 Петросян В. С. // Экологическая безопасность как ключевой фактор устойчивого развития. М.: Изд. РГГУ, 2006. С. 16.
- 36 Women and Their Toxic World, WECF, Utrecht, 2006.
- 37 Петросян В. С. // Россия в окружающем мире: 2006. / под ред. Н. Н. Марфенина и С. А. Степанова. М.: МНЭПУ, 2007. С. 149.
- 38 Яблоков А. В. Россия: здоровье природы и людей. М.: Галерея Принт, 2007.
- 39 Петросян В. С. // Глобальные экологические проблемы России. / под ред. Ф. Т. Яншина. М.: Наука, 2008. С. 89–99.
- 40 Яблоков А. В. Окружающая среда и здоровье москвичей. М.: АВК-Групп, 2009.