

**ХИМИЧЕСКИЕ СПУТНИКИ ЗЕМЛИ И ХИМИЧЕСКИЕ БУМЕРАНГИ:
ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

В.С. Петросян

**Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Воробьёвы горы д.1, стр.3, Москва 119 992, т/ф 939-55-46**

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. Рассмотрена также предложенная автором концепция «Химических бумерангов» - токсичных веществ, которые используются для решения различных проблем, но затем попадают в организм человека и оказывают негативные эффекты на его здоровье. Обсуждено предложенные автором толкования определений «Токсичность», «Экотоксичность» и «Химическая безопасность», базирующиеся на рассмотрении «Химических стрессов» человека, животных и растений.

Оглавление.

I. Введение.

II. Химические спутники Земли и глобальное загрязнение окружающей среды.

III. Химические бумеранги и здоровье населения.

IV. Заключение.

I. Введение.

Химическая наука за длительный период своего развития способствовала значительному развитию общества благодаря разнообразным применениям большого числа природных и синтетических веществ (углеводородное топливо, полимеры, удобрения, пестициды, масла, красители, пищевые добавки, косметика, лекарства, растворители и многое другое). 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 двадцатого века возникли серьёзные экологические проблемы и стало очевидно, что использование многих химических веществ приводит к значительной биодegradации водных и террестриальных 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 нитрат-ионов, легко трансформирующихся в токсичные нитрит-ионов и приводящие к 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 влияющих на репродуктивное здоровье как женских, так и мужских организмов;

- 6) броморганические антивоспламенители, добавляемые в краски и импрегнируемые в различные материалы, но при выделении из них разрушающие внутренние органы человека;
- 7) канцерогенная перфтороктановая кислота, используемая для получения перфторированных полимеров, применяемых 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 рассматриваются подробно предложенные автором ранее¹ концепции «химических спутников Земли» и «химических бумерангов», а также определения «токсичность», «экоотоксичность», «химические стрессы» и «химическая безопасность». Эти концепции и определения автора обзора являются оригинальными, т.е. работ других авторов с аналогичными подходами не существует.

II. Химические спутники Земли и глобальное загрязнение окружающей среды.

Токсичные вещества, попадающие в атмосферу с выбросами из труб автомобилей, промышленных и энергетических предприятий, со свалок промышленных и бытовых отходов, с сельскохозяйственных полей и т.д., подхватываются ветром и, в соответствии с «розой ветров», совершают короткие и длинные (включая кругосветные) маршруты, прежде чем выпадают с дождём или снегом в различных регионах нашей планеты. Именно поэтому мы назвали эти вещества **химическими спутниками Земли** и, проведя анализ выпадающих осадков и сбросов сточных вод и отходов в водные и террестриальные экосистемы, сделали вывод о том, что химические спутники Земли дают очень важные вклады в суммарное загрязнение не только атмосферы, но также почв и природных вод (как поверхностных, так и подземных). Следовательно, загрязнение окружающей среды токсичными веществами является глобальной экологической проблемой, т.к. выбросы могут иметь место в Азии, Африке или Южной Америке, а загрязнение атмосферы, почв и вод будет происходить в Европе и Северной Америке, или в Австралии и Антарктиде.

Моделирование трансграничного переноса. Ранее для анализа трансграничного переноса различных химических соединений было развито несколько качественных и количественных моделей. Некоторые примеры таких глобальных моделей²⁻⁶ приведены в

Таблице 1. Анализ с помощью таких моделей показывает, что все три основных типа химических веществ – органические, неорганические и металлоорганические могут вести себя как химические спутники Земли.

Приоритетные тяжёлые металлы. Посмотрим, насколько велики антропогенные выбросы тяжёлых металлов, например, в странах Европейского Союза. Наиболее типичные величины выбросов⁷ приведены в Таблице 2.

Так как уровни выбросов весьма высоки, то происходят значительные выпадения этих тяжелых металлов и, как следствие, наблюдаются высокие концентрации свинца, кадмия и ртути в окружающей среде. Краткий анализ ситуации с этими тремя важными металлами приведен ниже:

Свинец: самые высокие концентрации наблюдались в атмосфере Центральной и Восточной Европы (100 нг/м³); максимальные уровни в его отложениях достигали 10 мкг/л.

Кадмий: максимальные уровни загрязнения атмосферы наблюдались в Польше, Чешской Республике и Словакии (3 нг/м³); самые высокие концентрации в отложениях достигали 1.4 мкг/л.

Ртуть: наивысшие концентрации (660 г/км²/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 по очевидной причине обычно загрязняют, прежде всего, территории и акватории этой страны, во-вторых – ближайших соседей и, в-третьих – других, расположенных во 2-ом и 3-ем окружениях стран. Очень хорошо иллюстрирующий это утверждение пример выбросов и осаждения тяжёлых металлов в России⁵ приведен в Таблице 3.

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

Приоритетные органические токсиканты. В 2001 году большинством стран мира была подписана Стокгольмская Конвенция⁸, запрещающая производство и использование органических веществ, приведённых в Таблице 4. Дополнительный список стойких

токсичных веществ (СТВ) был предложен в рамках проекта ЮНЭП-ГЭФ «Региональная оценка стойких токсичных веществ»⁹. Он включает в себя: 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 её сульфонат (ПФОС), а также фталаты; 15-16) Непреднамеренные продукты: полиядерные ароматические углеводороды (ПАУ) и ртутьорганические соединения. Начиная с 1-ой Межправительственной конференции ООН по СОЗ в Пунта-дель-Эсте (Уругвай, 2005) Правительства многих стран официально предложили ООН добавить многие из вышеприведённых 16 стойких токсичных веществ (атразин, КЦХП, линдан, ПБДЭ, фталаты, эндосульфат и др.) к списку СОЗ Стокгольмской Конвенции.

Химические спутники и озеро Байкал. Мы показали¹⁰ в рамках проекта, посвященного экотоксикологическим проблемам озера Байкал, что байкальская биота загрязняется, главным образом, СТВ, попадающими в озеро либо через атмосферный трансграничный перенос (ПАУ и ПХБ), или же с водами впадающей в озеро реки 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 Таблице 5. В Таблице 6 приведены суммарные данные¹¹ по биоаккумуляции различных органических экотоксикантов в яйцах 16 видов птиц Байкальского региона, что позволяет 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 птиц как *Anas platyrhynchos*, *Podiceps auritus* и *Tringa stagnatilis*. В то же время, максимальные уровни биоаккумуляции фенолов наблюдаются для таких видов как *Podiceps auritus* и *Anas cluypeata*. В случае хлорорганических соединений уровень биоаккумуляции максимален для *Anas cluypeata*, *Tringa stagnatilis* и *Aythya fuligula*. Максимальные суммы нитробензолов обнаружены в *Aythya fuligula*, *Tringa stagnatilis*, *Anser anser* и *Anas platyrhynchos*. И, наконец, дибензофуран более всего биоаккумулировался в *Aythya fuligula* и *Gallus gallus*.

Таким образом, из полученных данных можно со всей очевидностью сделать вывод, что **химические стрессы** байкальской биоты происходят с вполне определёнными закономерностями для отдельных видов, что и характеризует разную **экотоксичность** одних и тех же веществ для разных биологических видов. При этом, под экотоксичностью

мы, так же как и в рассмотренных в следующем разделе примерах **токсичности** (только в данном случае не для человека, а для биоты), имеем ввиду, что попадающие в растения и 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, что, в свою очередь, приводит к отклонениям от нормального функционирования биоты.

Металлоорганические токсиканты и проблемы осетровых рыб Северного Каспия. В выполненном нами проекте показано¹², что типичные для водных экосистем ртутьорганические и оловоорганические экотоксиканты оказывают существенные негативные эффекты на физиологические свойства Русского осетра (*Asipenser gueldenstaedti* В.) в северной части Каспийского моря.

На основании полученных экспериментальных данных мы пришли к выводу, что эти эффекты можно объяснить с помощью двух альтернативных механизмов участия металлоорганических экотоксикантов, R_nMX_m , в протекающих в организмах Русских осетров биохимических процессах, как это показано на Рис.1.

Один из механизмов (без разрыва связи углерод-металл) основан на общепринятом рассмотрении электроноакцепторных свойств металлов и взаимодействии этих металлов с электронодонорными атомами в биохимических мишенях, которое приводит к образованию молекулярных комплексов (если при этом не происходит разрыва связи металла с неорганическим лигандом) или к образованию ионных комплексов (если диссоциация связи металл - неорганический лиганд происходит). В обоих случаях образуемые комплексы представляют собой существенно модифицированные рецепторы, которые больше не могут функционировать так, как это делали свободные рецепторы и поэтому физиологические свойства осетров меняются.

Альтернативный механизм включает в себя в процессе комплексообразования металлоорганических экотоксикантов с электронодонорными лигандами гомолитический разрыв связей металл-углерод в металлоорганических экотоксикантах, участвующих в окислительно-восстановительных (или только восстановительных) процессах, приводящих к образованию свободных радикалов. Эти свободны радикалы разрушают биологические мембраны вследствие их участия в переносе электрона и пероксидном окислении липидов, а также ингибируют восстановление кислорода и синтез АТФ.

Молекулярные механизмы токсичности

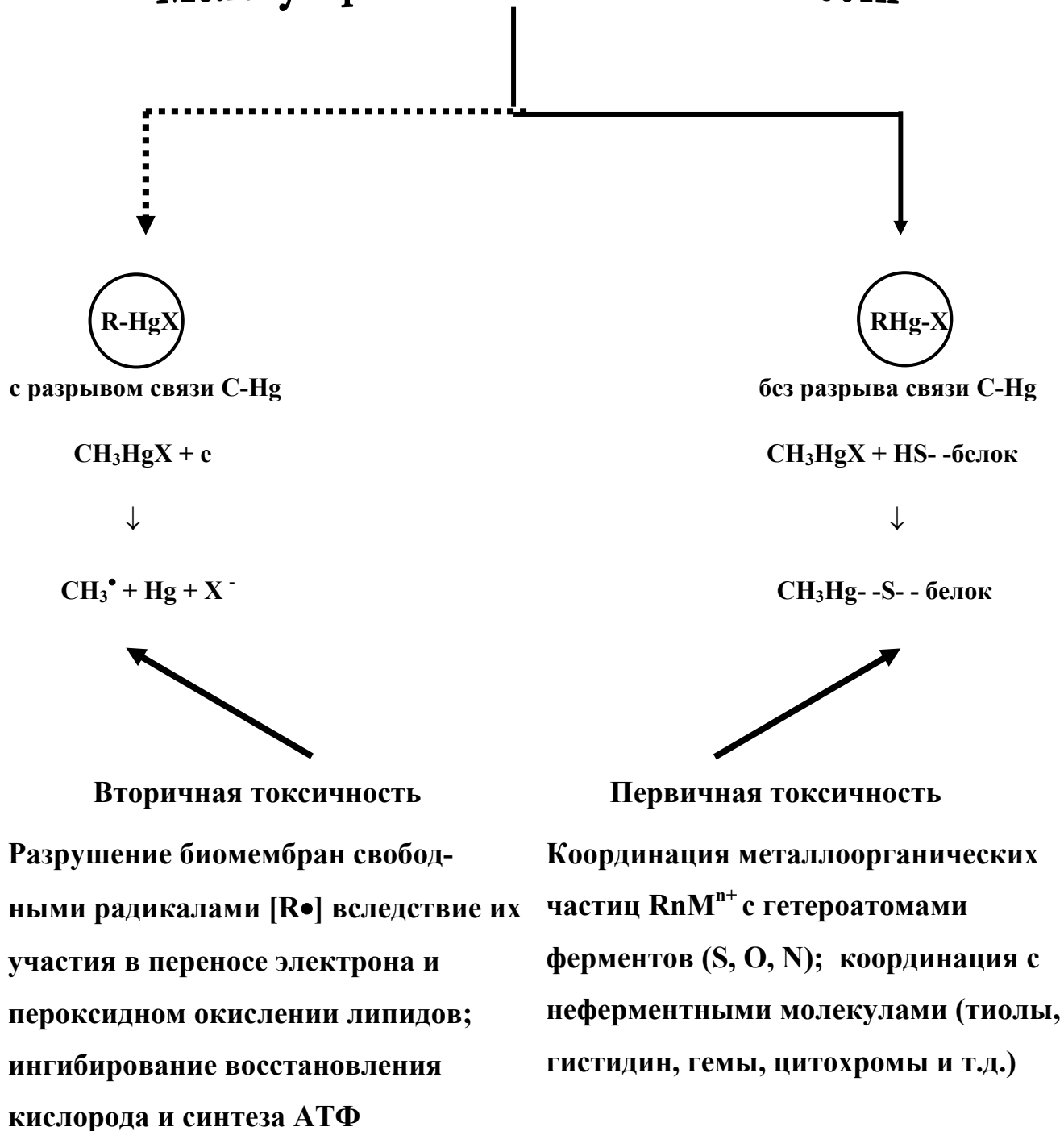


Рис.1. Участие металлоорганических экотоксикантов

в биохимических процессах

Эффект кузнечика. Ваня и Маккей³ предположили, что химическое вещество после выпадения без разложения на какую-то фазу (водную или почвенную) может обратно попасть в атмосферу, после чего может снова выпасть на поверхность Земли и эта процедура 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 и 4) как антропогенный перенос в виде продуктов и отходов.

Полярная дистилляция. Ивата с сотрудниками¹³ наблюдали в глобальном масштабе, что температурные градиенты в космосе в комбинации с процессом перемешивания в атмосфере способствуют переносу веществ из тёплых регионов в холодные. Это приводит к высоким концентрациям СТВ в полярных и высокогорных регионах. Мы предложили называть этот эффект «полярной дистилляцией»¹. Ваня и Маккей используют для него термин «холодная конденсация»¹⁴.

Разные типы химических спутников Земли. В концепцию химических спутников Земли и глобального загрязнения биосферы хорошо 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 Российской Федерации (Таблица 7)¹⁵. На его использование 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 (около 7 т/г) примерно на одном уровне с Испанией (8,7 т/г), что было, однако, существенно меньше, чем, например, в Германии (42,5 т/г)⁵. В Европе, в частности, в центральных районах континента в тот же период выпадения ПХБ были весьма интенсивны (20 г/км²/год). Для рассмотренных 42 стран это дало в сумме 113 т/год. Максимальные отложения в

европейских городах наблюдались в Париже (28 г/км²/год). При выпадении из атмосферы ПХБ распределяются примерно поровну в морской среде (31%), почве (29%) и лесной подстилке (40%)⁵.

Существенные значения получены для выпадений в европейских странах бенз(а)пирена⁴. Самые высокие цифры для морей (до 3 мкг/м³) получены для вод Чёрного 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 10нг/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 году дали Польша, Россия и Украина (28, 91 и 18,6 т/год, т.е. 90% общего количества бенз(а)пирена, выпавшего в Европе). Из Таблицы 8 следует⁴, 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 в самой России. В то же время, в общие суммы выпадения бенз(а)пирена в 1998 году в самих Польше, Украине и , в меньшей мере, в России, были существенны, как следует из Таблицы 9, и вклады других европейских стран⁴.

А какова же ситуация с диоксинами? Шаталов с сотрудниками⁶ показали (Таблица 10), что, как и в случае с ПХБ, основным компонентом окружающей среды, накапливающим ПХДД и ПХДФ, является почва. Расчёты показывают, что около 60% годового выброса диоксинов и фуранов выносятся за пределы региона, для которого проводятся расчёты. 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). Почвы более всего загрязнены в Люксембурге (15пг/г), Бельгии (11-22 пг/г), Нидерландах и Германии (0,5-22пг/г). В Таблице 10 приведены данные по выпадениям некоторых приоритетных токсикантов (в том числе и одного из приоритетных диоксинов) в европейские моря, которые получены с помощью модельных расчётов⁶.

III. 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 урожая сельскохозяйственных культур, броморганические антивоспламенители,

предупреждающие самовозгорание электронной бытовой техники или оловоорганические соединения, предупреждающие биообрастание судов в Мировом океане) и выполнившими на первой половине петли бумеранга поставленную задачу, на ее второй половине 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, являются: генотоксичность, некроз, иммунотоксичность, воспалительные процессы, общая цитотоксичность и гистопатология¹.

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 веществ¹⁶. Достаточно привести пример с ДДТ, за успешное применение которого в борьбе с малярией швейцарскому исследователю Паулю Мюллеру в 1948 году была присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине, а уже в 1972 году ДДТ в развитых странах был запрещён к использованию в связи с доказательством его биоаккумуляции в живых организмах и токсичном воздействии на них.

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 года, проводит систематический мониторинг уровня загрязнения окружающей среды в целом, и водных экосистем в частности, токсичными веществами¹⁷. В некоторых европейских странах, а также в Канаде и США, помимо приоритетных неорганических токсикантов, включая токсичные газы и соли тяжёлых металлов (Табл.11), в последние годы значительные усилия прикладываются для предотвращения дальнейшего загрязнения окружающей среды приоритетными стойкими токсичными веществами (СТВ), включая СОЗ – стойкие органические загрязнители (Табл.12), а в самое последнее время и металлоорганические токсиканты (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 в форме, понятной учёным, законодателям, чиновникам и населению. Была

проведена специальная конференция¹⁸ 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 последнее двадцатилетие подписано также несколько международных соглашений на уровне ООН, среди которых, безусловно, следует отметить Базельскую конвенцию по токсичным отходам¹⁹, Парижскую конвенцию по уничтожению химического оружия²⁰, Монреальский протокол по защите озонового слоя²¹ (в соответствии с которым были запрещены к производству и использованию разрушающие озоновый слой фреоны), Роттердамскую конвенцию по перевозкам токсичных веществ²², Рамочную Конвенцию ООН об изменении климата²³, а также Киотский протокол по глобальному изменению климата²⁴ (предусматривающие уменьшение выбросов в окружающую среду «парниковых» газов типа диоксида углерода, метана и других), уже упомянутую выше Стокгольмскую конвенцию по стойким органическим загрязнителям⁸ (предполагающую запрещение производства хлорорганических пестицидов, гексахлорбензола 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 году Повестке дня на 21-ый век²⁵ 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, на значительную часть этих веществ отсутствуют токсикологические данные, характеризующие опасность их использования, прежде всего, с точки зрения хронических эффектов.

Созданный в соответствии с решениями Конференции «Рио-92» Межправительственный форум по химической безопасности (МФХБ) на своих 1-ом (1994 год) и 2-ом (1997 год) заседаниях проводил подготовительную работу по выработке Декларации по химической безопасности, которая была принята на 3-ем заседании в Байе (Бразилия) в 2000 году²⁶. 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 ещё и потому, что

стандарты химической безопасности в значительной части мира не отвечают тому, что необходимо для обеспечения адекватной охраны здоровья человека и окружающей среды. Специально подчеркнуто, что для надлежащего использования и уничтожения во всём мире запасов токсичных веществ (в частности, неиспользованных пестицидов) всё ещё не мобилизованы международные и национальные ресурсы, а международные оценки токсичных веществ не достигли контрольных показателей, установленных в 1994 году.

На прошедшей в 2002 году в Йоханнесбурге Межправительственной Конференции ООН по устойчивому развитию был сделан не обнадеживающий 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 из 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 их называть **химическими бумерангами 1-го рода**). Те токсичные вещества в Таблицах 11 и 13, 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, так или иначе 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, определяющий накопление токсиканта в организме. При этом нужно сознавать, 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 важнейшими источниками химических стрессов населения являются: продукты питания с попавшими в них токсикантами, хлорированная питьевая вода с различными хлорорганическими соединениями, а также атмосферный воздух, включающий в себя, прежде всего, значительные количества высокотоксичных монооксида углерода, оксидов азота и бенз(а)пирена.

Эколого-эпидемиологические исследования показывают²⁷⁻⁴⁰, что существуют корреляции между химическим загрязнением и здоровьем населения. Для критической оценки негативных эффектов необходимо проводить сравнение данных, полученных в экспериментах с лабораторными животными, с результатами эколого-эпидемиологических исследований различных воздействий, а также с эффектами, наблюдаемыми для населения.

Большие сложности вызывают попытки выявить причинно-следственные отношения между воздействием на человека малых доз токсикантов и негативными эффектами на здоровье населения, в частности потому, что в каждый конкретный момент человек оказывается подверженным воздействию широкого круга химических веществ. В человеческих тканях по всему миру обнаруживают заметные количества ПХБ, диоксинов и различных хлорорганических пестицидов, а загрязнение пищевых продуктов, включая грудное молоко, является сегодня также повсеместным явлением.

В последние годы опубликовано большое количество сообщений о загрязнении окружающей среды в Российской Федерации приоритетными токсикантами³⁰⁻³³. Например, указывалось, что самые высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха полиядерными ароматическими углеводородами (5-15 нг/м³) наблюдаются в сибирских городах Братск, Красноярск, Магнитогорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Челябинск и Шелехов, где расположены крупнейшие в мире алюминиевые и сталелитейные заводы.

Суммарные выбросы наиболее канцерогенного ПАУ, бенз(а)пирена, ещё 10 лет назад оценивались на уровне 100-200 тонн в 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 году концентрации ПХБ в почвах в 2 км на север от завода составляли 35.7 ppm, а в 0.3 км на юг от завода – до 11

000 ppb. В молоке кормящих матерей, живших вблизи от завода, ПХБ содержалось от 1 093 to 2 392 мкг/л.

В Российской Федерации имелось, по крайней мере, две «горячих точки», Чапаевск (Самарская область) и Уфа (Республика Башкортостан), в которых большие заводы, выпускавшие хлорорганическую продукцию (преимущественно, ПХБ и пестициды), выбрасывали в окружающую среду большие количества диоксинов. В Чапаевске в 1990 году на заводе по производству пентахлорфенола почвы содержали 18.7 ppb 2,3,7,8-ТХДД (тетрахлордибензодиоксина). В Уфе в 1987 году концентрации ТХДД в почвах около завода по производству 2,4,5-трихлорфенола достигали 9.6 ppb. Загрязнение иловых осадков в реке Белой на расстоянии 150 метров от места сброса было на уровне 4 ppb. Измерения диоксинов в главном источнике питьевой воды города, реке Белой, дали следующие концентрации: ТХДД – 80 пг/л, ГкХДДД (гексахлордибензодиоксина) - 88 нг/л, ГпХДД (гептахлор-дибензодиоксина) – 120 нг/л и ОХДД (октахлордибензодиоксина)– 760 нг/л.

Эпидемиологические исследования, проведённые в Чапаевске с 1969 по 1998 годы 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 являлись рак лёгкого и гортани для мужчин, и рак груди – для женщин. Для населения города весьма распространёнными явились 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, проведённые в Уфе, показали²⁹, что воздействия на рабочих аналогичных заводов были весьма высокого уровня. В частности, они болели хлоракне и другими болезнями, включая спонтанные аборт и половые диспропорции среди новорождённых (с превышением числа девочек над числом мальчиков).

В последние годы показано²⁹, 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 величины значительно превышают соответствующие уровни для

ветеранов американской войны во Вьетнаме и значительно выше уровней 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 ртутьорганических соединений (25 человек в течение 2-3 месяцев кормили мясомолочными продуктами, содержащими 1-10 нг/г EtHgX), показало рост жалоб, указывающих на патологию гипоталамических структур мозга, и уменьшение жалоб, связанных с патологией периферической нервной системы.

Особую тревогу вызывают химические стрессы детского населения, приводящие, как теперь стало понятно, к печальной статистике по здоровью детей России. Достаточно привести результаты недавнего исследования, согласно которым загрязнение атмосферного воздуха в 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 патологии³⁴.

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 когда 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 удаётся сохранять здоровье населения».**

Для России сегодня, помимо вышеуказанных, остаются актуальными, по крайней мере, ещё 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.

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 обсуждать именно эти факторы.

Цитированная литература.

1. В.С. Петросян, Вестник РАЕН, **5**, 58 (2005)
2. M. Scheringer, Environ. Sci. Technol., **30**, 1652 (1996)
3. F. Wania, D. MacKay, Environ. Sci. Technol., **30**, 390A (1996)
4. Региональная оценка стойких токсичных веществ. Европа, региональный доклад. Издание ГЭФ, 2002.
5. A. Ryaboshapko, I. Ilyin, A. Gusev, O. Afinogenova, T. Berg, A.G. Hjellbrekke, Joint Report of EMEP Centres: MSC-E and CCC, Moscow, 1999.
6. V. Shatalov, A. Malanichev, T. Berg, R. Larsen, EMEP Report 4, Parts I-II, Moscow, 2000.
7. I. Ilyin, A. Ryaboshapko, O. Travnikov, T. Berg, A.G. Hjellbrekke, R. Larsen, 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. O.V. Poliakova, A.T. Lebedev, N.K. Karakhanova, V.A. Shmorgunov, A.V. Funtov, and V.S. Petrosyan, in "Water Pollution V: Modelling, Measuring and Prediction", Eds. P. Anagnostopoulos and C.A. Brebbia, WITpress, 1999, p. 419.
11. A.T. Lebedev, O.V. Poliakova, N.K. Karakhanova, V.S. Petrosyan, A. Renzoni, The Science of Total Environment, **212**, 153 (1998).
12. E. Milaeva, N. Berberova, L. Pellerito, Yu. Pimenov, V. Petrosyan, Appl. Bioinorg. Chem., **2**, 69-91 (2004).
13. H. Iwata, S. Tanabe, N. Sakai, R. Tatsukawa, Environ. Sci. Technol., **27**, 1080 (1993)
14. F. Wania, D. MacKay, Ambio, **22**, 10 (1993)
15. J. Munch, F. Axenfeld, Datenbasis Historischer Emissionen Ausgewahlter Persistenter Organischer Stoffe in Europa (1970-1995), Umweltbundesamt, Berlin, 1995.
16. В.С. Петросян, Бюлл. Центра Экол. Политики, **6**, 16 (1999).
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, National Academy Press, Washington, D.C., 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-ый век, SRO-Kundig S.A., Женева, 1993.
26. Байская декларация по химической безопасности, ВОЗ, Женева, 2000.
27. В.С.Петросян, Природа, **2**, 13 (2000).
28. Н.А. Ключев, Б.А. Курляндский, Б.А. Ревич, Б.Н. Филатов, Диоксины в России, М., 2001.
29. Галимов Ш.Н., Камилов Ф.Х., Гонадотропные эффекты феноксигербицидов в мужском организме, Уфа, 2001.
30. Ревич Б.А., Загрязнение окружающей среды и здоровье населения, М., 2001.
31. В.В. Худoley, Е.Е. Гусаров, А.В. Клинский, Г.А. Ливанов, А.А.Старцев, Стойкие органические загрязнители: пути решения проблемы, С-Пб., 2002.
32. Ю.П. Гичев, Загрязнение окружающей среды и здоровье человека (Печальный опыт России), СО РАМН, Новосибирск, 2002.
33. В.С. Петросян, в сб. 8-ая Международная конференция «Экологическая безопасность как ключевой фактор устойчивого развития», 2004, Москва, с. 20.
34. Здоровые дети – будущее России, Сб. материалов под ред. В.А. Соболева, Центр экореконструкции здоровья «Зелёный дом», М., 2004.
35. В.С. Петросян, в «Экологическая безопасность как ключевой фактор устойчивого развития», М, Изд. РГГУ, 2006, с. 16.
36. Women and their Toxic World, WECF, Utrecht, 2006.
37. В.С. Петросян, в сб. «Россия в окружающем мире: 2006», под ред. Н.Н. Марфенина и С.А. Степанова, МНЭПУ, М., 2007, с. 149.
38. А.В. Яблоков, Россия: здоровье природы и людей, Галерея Принт, М., 2007.
39. В.С. Петросян, в «Глобальные экологические проблемы России», ред. Яншина Ф.Т., 2008, «Наука», М., стр.89-99.
40. А.В. Яблоков, Окружающая среда и здоровье москвичей, АВК-Групп, М., 2009.

Ключевые слова и использованные термины на английском языке.

Chemical Boomerangs

Chemical Safety

Chemical Sputniks

Ecotoxicity

Polar distillation

Priority Toxicants

Toxicity

Табл.1. Примеры существующих глобальных моделей

трансграничного переноса различных химических соединений

Название модели	Описание/Область применения	Источник (страна)
ChemRange	Распределительная модель для оценки трансграничного переноса и стойкости веществ	М. Шерингер ² (Швейцария)
Globo-POP	Многосекторальная модель баланса масс для оценки судьбы веществ в окружающей среде	Ф. Ваня и Д. Маккей ³ (Канада)
MPI-MSTM	Многосекторальная модель химического переноса	Институт метеорологии им. Макса Планка (Германия) ⁴
MSCE-НМ и MSCE-POP	Многосекторальные модели трансграничного переноса и устойчивости тяжёлых металлов и стойких органических загрязняющих веществ	Метеорологический синтезирующий центр – Восток (Россия) ^{5,6}

Табл. 2. Выбросы тяжелых металлов в Европе (тонн/год)

Страна	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

Табл. 3. Выпадения тяжелых металлов, выброшенных в атмосферу России (%)

Металлы Страны- реципиенты	Pb	Cd	Hg
Россия	80	66	37
Польша	1	5	1
Украина	8	7	3
Грузия	1	-	-
Чехия	-	1	-
Румыния	-	-	1
Другие страны	10	21	58

Табл. 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 (ГХБ), Полихлорированные бифенилы (ПХБ)	Промышленность, вооруженные силы, энергетика	Болезни печени Возможные канцерогены, эндокринные разрушители
Полихлорированные дибензодиоксины (ПХДД) и дибензофураны (ПХДФ)	Непреднамеренные продукты	Хлоракне, тератогены, канцерогены

Табл.5. Содержание стойких органических веществ

в некоторых видах биоты озера Байкал (нг/г)

Биота	СТВ	ПАУ	ПХБ	ДДТ и его метаболиты
Водоросли		537	-	-
Водные растения		1081	-	-
Фитопланктон		5030	-	-
Зоопланктон		7420	-	-
Карась		63	22	-
Омуль		86	38	-
Голомянка		1018	1170	443
Нерпа-детёныш		312	1710	2200
Нерпа-самка		681	12810	7760
Нерпа-самец		1762	71074	80740

Таблица 6. Органические экотоксиканты в яйцах птиц

Байкальского региона (мкг/кг)

Экотоксиканты Виды птиц	Сумма ПАУ	Сумма фенолов	Хлор- органика	Сумма нитро- бензолов	Дибензо- фуран
<i>Anas platyrhynchos</i>	10688.9	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	13255.6	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

Табл.7. Выбросы гексахлорбензола в Российской Федерации

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

Табл.8. Трансграничный перенос бенз(а)пирена из Польши, России и Украины

Страны-источники	Страны-реципиенты				
Польша	Беларусь 1481 кг 5%	Польша 13620 кг 48%	Россия 3364 кг 12%	Украина 2172 кг 8%	Другие регионы 7411 кг 27%
Россия	Казахстан 1443кг 2%	Россия 80196 кг 94%	Украина 1782 кг 2%	Финляндия 1289 кг 2%	Другие регионы - -
Украина	Беларусь 678кг 4%	Россия 4580 кг 25%	Румыния 644 кг 3%	Украина 9102 кг 49%	Другие регионы 3582 кг 19%

Табл. 9. Трансграничный перенос бенз(а)пирена в Польшу, Россию и Украину

Страны - реципиенты	Страны - источники					
Польша	Великобритания 7,4 кг 2%	Германия 936 кг 5%	Польша 13620 кг 74%	Словакия 473 кг 3%	Чехия 1155 кг 6%	Другие регионы 14,2 кг 4%
Россия	Польша 3364 кг 4%	Россия 80196 кг 83%	Украина 4580 кг 5%	- - -	- - -	Другие регионы 7215 кг 8%
Украина	Венгрия 397 кг 2%	Польша 2172 кг 14%	Россия 1782 кг 11%	Румыния 670 кг 4%	- - -	Другие регионы 1891 кг 12%

Табл. 10. Выпадения некоторых органических токсикантов в европейские моря

Органические токсиканты	Единицы измерения	Средиземное море	Балтийское море	Северное море
ПХБ	кг/год	1623	715	594
Б(а)П	т/год	30	7	12
2,3,4,7,8-ПеХДФ	г/год	492	65	101

Таблица 11. Основные типы стойких органических загрязнителей (СОЗ),

их источники и обусловленные ими стрессы

Стойкие органические загрязнители	Основные источники	Типы химических стрессов
Альдрин, атразин, гептахлор, ДДТ, дильдрин, линдан, мирекс, токсафен, хлордан, хлордекон, эндосульфат, эндрин	Хлорорганические и другие пестицидные препараты	Биоаккумуляция в жировых тканях организмов и в трофических цепях, поражение центральной нервной и эндокринной систем, канцерогенез
Гексабромбифенил (ГББ)	Антивоспламенитель для термопластиков	Болезни кожи, выпадение волос, канцерогенез, эндокринные разрушения
Гексахлорбензол (ГХБ)	Дымовые завесы, фейерверки	Болезни печени, канцерогенез
Октил- и нонилфенолы	Детергенты, пластификаторы и стабилизаторы резины	Разрушение эндокринной системы
Пентахлорфенолы (ПХФ)	Краски, текстиль, пестициды для защиты древесины	Общая токсичность
Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ)	Антивоспламенители для полиуретановых составов в матрацах и мебели	Канцерогенез, эндокринные разрушения и препятствие развитию мозга
Полихлорированные бифенилы (ПХБ)	Трансформаторные и смазочные масла, пластификаторы	Поражение эндокринных систем и проявление канцерогенеза

<p>Полихлорированные дибензодиоксины (ПХДД) и дибензофураны (ПХДФ)</p>	<p>Микропримеси в ПВХ, хлорфенолах, пестицидах, продуктах сгорания ПВХ и отбеленной целлюлозе</p>	<p>Супертоксичность, проявление тератогенез и канцерогенеза, поражение кожи (хлоракне), эндокринной, иммунной и репродуктивной систем</p>
<p>Полиядерные Ароматические углеводороды (ПАУ)</p>	<p>Образуются при неполном сгорании древесины, угля и нефтепродуктов</p>	<p>Канцерогенез</p>
<p>Фталаты</p>	<p>Пластификаторы, репелленты, растворители</p>	<p>Разрушение эндокринной системы</p>

Таблица 12. Основные типы неорганических загрязнителей,

их источники и обусловленные ими стрессы

Неорганические загрязнители	Основные источники	Типы химических стрессов
Газы		
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
Анионы		
Нитраты и нитриты	Азотные удобрения	Высокие концентрации в питьевой воде вызывают метгемоглобинемию («синдром голубого ребенка») и приводят к образованию канцерогенных нитрозаминов
Тяжелые металлы		
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 щёлочи и хлора, добыча золота, электроника, катализ	Высоко токсична 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	Токсичен, но меньше, чем вышеприведенные металлы

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

Петросян Валерий Самсонович

Заслуженный профессор МГУ им. М.В. Ломоносова

Зав. Лабораторией физической органической химии Химического факультета МГУ

Зав. Кафедрой общей химии Московского городского педагогического университета

Ректор Открытого Экологического Университета МГУ

Президент Центра «Экология и Здоровье»

Академик, председатель Секции химии Российской академии естественных наук

Иностраннный член Национальной академии наук Республики Армения

Лауреат Медали Итальянского химического общества «За выдающиеся достижения в химии окружающей среды»

Лауреат Премии Европейского общества по химии и токсикологии окружающей среды «За успехи в экологическом образовании»