

УСПЕХИ ХИМИИ

ВЫПУСК 3

МАРТ 1991

ТОМ 60

МОСКВА
«НАУКА»

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В ЯНВАРЕ 1932 ГОДА
ВЫХОДИТ 12 РАЗ В ГОД

I. ХЕМОСФЕРА И ЭКОЛОГИЯ

ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ХИМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

Фокин А. В.

В современной литературе в последние годы приводится обширная и разнообразная информация по экологическим вопросам. Эти проблемы обсуждают не только научные работники различных направлений, но и журналисты, писатели, работники искусства.

Несмотря на доступность и многочисленность экологических знаний, целесообразно, тем не менее, рассмотреть эти проблемы с точки зрения химии, хотя бы потому, что химия и химическая промышленность являются одним из основных источников нарушения биосферного равновесия и они же могут дать эффективные средства и пути защиты окружающей среды от так называемой антропогенной деятельности.

В первой четверти нашего столетия замечательный русский ученый В. И. Вернадский в своих трудах развел концепцию биосфера. По его представлениям, биосфера — это внешняя оболочка планеты. Земля, находящаяся в границах атмосферы, гидросфера и литосфера, занятая живым веществом. Атмосфера, вся гидросфера и глубокий слой литосфера многими своими свойствами обязаны тому влиянию, которое оказывают живые организмы в ходе своего существования и эволюции.

Воздух, почва и вода образуют полностью взаимосвязанную систему биосфера, которая поддерживает все живое, преобразует всю энергию, и, несмотря на свою могучую жизнеспособность, состоит из хрупких и уязвимых механизмов. Совокупную деятельность всех организмов на Земле В. И. Вернадский считал наиболее мощным геохимическим фактором, преобразующим поверхность Земли, энергетическим фактором планетарного масштаба. Разработав четкие представления о роли биосфера, В. И. Вернадский обратил внимание на то, что промышленно-техническая деятельность человечества в наше время настолько сильно влияет на изменение лика Земли, что ее можно считать «новым», геологическим фактором — силы человека стали соизмеримыми с силами природы.

Среди современных научно-технических проблем, которыми так богато наше время, взаимоотношение биосфера и человечества оказалось важнейшей проблемой, комплексное решение которой составляет актуальную задачу современной науки и технологий.

Современная эпоха характеризуется тем, что развитие общества пришло в противоречие с ограниченными жизнеобеспечивающими возможностями биосфера. Пока человек своей деятельностью не вмешивался в дела природы, она сама создавала необходимые условия для своего развития и равновесия. В природе существовали процессы саморегулирования, уравновешивающие человеческую деятельность. Традиционно эта деятельность, в том числе и промышленное производство, развивалась на основе представлений о неограниченности природных ресурсов и безграничности самоочищаемости природной среды.

Экосистема биосфера благодари компенсирующим механизмам и огромной структурной гибкости позволяла до поры до времени как-то уравновешивать последствия человеческой деятельности. Однако возросшая человеческая активность, рост энергетической и технической мощи общества, вмешательство человека, не подкрепленное научным предвидением, привели к загрязнению и преобразованию биосферы, которое становится необратимым и пугающим. Происходит истощение ресурсов суши и океана, загрязнение всех составляющих природной среды, деградация экосистем, нарушение биохимического круговорота веществ.

Нет возможности перечислить, чем человек загрязняет атмосферу, моря, озера и реки: промывные воды химических производств, кислоты, щелочи, красители и смолы, соединения ртути, кадмия, олова и других металлов, отходы нефтяной, бумажной, чугунолитейной и сталелитейной промышленности, отходы автомобильных, кожевенных, горно-обогатительных заводов, многие тонны смытых с полей удобрений и пестицидов, айсберги — цены моющих средств и отбросы городской канализации. Воздух, земля и вода терпеливо разбавляли и прятали все эти ядовитые выбросы. Однако сейчас ноша стала непосильной.

Человечество поняло, наконец, что истреблению природы должен быть поставлен мощный заслон. Возникло движение в защиту природы, возникла экологическая наука, и стали издаваться государственные акты и создаваться государственные и общественные организации для защиты среды, в которой живем мы и будем жить наши потомки.

Основные проблемы экологии — это проблемы загрязнения и очистки атмосферы и мирового океана, деградация почвы, истощение озонного слоя, глобальное изменение климата Земли, накопление в биосфере токсических веществ. Большинство этих проблем связано с совокупностью присутствующих в биосфере природных и чужеродных ей привнесенных химических веществ, сумму которых мы называем хемосферой. Нежелательные изменения хемосферы главным образом за счет антропогенной деятельности вызывают снижение продуктивности природных экосистем, гибель гидробионтов и лесов, исчезновение отдельных видов и популяций растительного и животного мира. Все это в конечном итоге оказывает отрицательное влияние на общество, сдерживая его развитие, и представляет угрозу выживанию человечества.

Качественное и количественное расширение промышленного производства приводит и к росту количества образующихся при этом отходов, включая не существовавшие ранее в природе и во многом чуждые живым организмам, так называемые ксенобиотики. Следствием таких техногенных изменений условий жизни стали участившиеся за последние годы заболевания (аллергические, генетические, тератогенные, эндокринные и др.).

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), от 40 до 50% заболеваний человека в наше время связаны с ростом экологического напряжения. Существующие прогнозы свидетельствуют о том, что антропогенные изменения среды обитания создают вполне реальную угрозу выживанию человечества.

Вмешательство человека в природные процессы, вызывающее масштабные изменения, проявляется в первую очередь в загрязнении атмосферы, гидро- и литосфера, а это по существу химические вопросы.

Огромные размеры воздушного океана приводят некоторых людей к заключению, что с воздухом нет необходимости обходиться так же, как с водой. Однако данные о растущих выбросах химических веществ в атмосферу показывают, что чистый воздух становится проблемой первостепенной важности и загрязнение атмосферы приняло глобальный характер.

Наибольшую опасность представляют промышленные газы, попадающие в атмосферу. В городах и промышленных районах сосредоточены огромные металлургические, химические и нефтеперерабатывающие заводы. Здесь же сосредоточены энергетические установки, тепловые электростанции, газовые заводы, неисчислимое количество автомобилей и большие массы людей. С ростом населения и с развитием промышленности отягощение биосферы газообразными и аэрозольными выбросами приобрело глобальный характер.

Все промышленные устройства потребляют минеральное топливо — нефть, уголь, горючие сланцы, соляровое масло, бензин, керосин. При сгорании топлива, кроме диоксида углерода, образуются продукты окисления сернистых соединений, оксиды азота, оксид углерода и другие вредные газы. Подсчитано, что промышленные установки, химические, металлургические и другие заводы и ТЭЦ ежегодно выбрасывают в атмосферу более 150 млн. т диоксида серы, 200 млн. т золы и десятки миллионов тонн аэрозолей.

К 2000 г. выброс диоксида серы может составить 450 млн. т в год. Известно, что диоксид серы опасен для здоровья человека уже при концентрации 1 часть на миллион. Концентрация его в промышленных районах достигает 5 частей на миллион и более. Диоксид серы — один из страшнейших врагов растений. Он заражает воздух, закисляет пресные воды, почву, является причиной кислых дождей, уничтожающих целые лесные массивы. Как правило, диоксид серы в зависимости от влажности воздуха превращается в аэрозоль серной кислоты. Велика опасность выбросов сероводорода, который также представляет токсичный газ, действующий на человека и животных. Первая очередь Астраханского газоконденсатного завода за 1987 г. выбросила в атмосферу более 1 млн. т H_2S .

Одним из сильнейших загрязнителей атмосферы является оксид углерода, который попадает в атмосферу при сжигании всех видов топлива и особенно моторного топлива автомобилей и двигателей в количестве десятков миллионов тонн. Ранее считалось, что только высокие концентрации оксида углерода опасны для человека. Исследования показали, что постоянное воздействие даже небольших концентраций этого газа вызывают сердечно-сосудистые заболевания, стенокардию, поражение коронарных сосудов, атеросклероз, снижают выживаемость при инфарктах.

К факторам загрязнения атмосферы следует также отнести растущее с каждым годом выделение диоксида углерода. При сжигании всех видов топлива в атмосферу ежегодно выбрасывается не менее $1 \cdot 10^{10}$ т диоксида углерода, который поглощает значительную часть энергии, излучаемой земной поверхностью.

Вместе с тем диоксид углерода не препятствует прохождению солнечных лучей к земле, создавая таким образом парниковый эффект. Высказано предположение, что с увеличением его концентрации в атмосфере количество тепловой энергии в приземных слоях атмосферы и на земной поверхности будет возрастать. К 2000 г. содержание диоксида углерода в атмосфере может вырасти с 0,032 до 0,0375 и даже до 0,040 %. Этот гло-

бальный рост может вызвать изменения климата и другие нежелательные последствия. 1988 г. стал самым теплым за последнее столетие. Средняя температура в 80-х годах оказалась выше, чем за последние десятилетия с 1949 г. по 1979 г. на 0,34°.

В связи с этими тревожными наблюдениями при ООН организована рабочая группа по изучению изменений климата. Однако парниковая теория, сформулированная впервые нашими учеными, нуждается в изучении и доказательствах. Например, в прошлом столетии также было зарегистрировано подобное потепление климата, которое сменилось его похолоданием. Тем не менее опасность экологических изменений, вызванных потеплением климата, очень серьезна, так как может привести к отступлению вечной мерзлоты, таянию льдов, затоплению суши и другим бедствиям.

Огромный экологический ущерб приносит транспорт всех видов. Отработанные газы, промывные жидкости, твердые отходы транспорта дают более 30% загрязнений.

При сгорании химического топлива, при переработке руд, при электролизе солей в окружающую среду переходят тяжелые металлы: ртуть, свинец, ванадий, олово и др., которые являются опасными источниками отравления людей, животных и растений. Например, с каждой тонны каустика теряется 600 г ртути, которая опасна сама по себе и становится особенно опасной, превращаясь в металлоорганические соединения ртути.

Загрязнение атмосферы оксидами азота и пропеллентами типа фреонов 11 и 12 приводит к истощению озонного слоя атмосферы, который, находясь в верхних ее слоях, служит защитой от ультрафиолетовых лучей солнца.

Атомные электростанции (АЭС) в период нормальной работы выбрасывают в атмосферу газообразные аэрозольные продукты: криптон-85, ксенон-133, радиоактивный иод-131 и тритий. Кроме газообразных, образуются также и твердые радиоактивные осколки (прометий-147, рутений-106, цезий-137, стронций-90, цирконий-95 и др.), период полураспада которых составляет от нескольких месяцев до 30 лет. Почти все осколочные радиоактивные изотопы, кроме газообразных, при переработке ТВЭЛов (тепловыделяющих элементов) переходят в кислые сбросные растворы. Такие растворы накапливаются на атомных химических заводах, создавая трудную проблему их переработки и безопасного хранения. Количество радиоактивных осколочных изотопов растет вместе с ростом атомной энергетики, и их захоронение представляет проблему исключительной трудности. Кстати, когда наша страна строит за рубежом АЭС, она поставляет «атомное горючее» — ТВЭЛы и забирает их обратно с радиоактивными осколками для переработки и для захоронения. Таким образом, мы вынуждены хранить не только свои, но и зарубежные радиоактивные отходы. Особую экологическую проблему составляет безопасность функционирования самих атомных электростанций, примером чему служит чернобыльская трагедия.

Количество добываемой нефти во всем мире превышает 3 млрд. т. Потери ее при транспортировке, не считая аварий и катастроф, составляют 1%. Это означает, что >30 млн. т нефти переходит, главным образом, в мировой океан. В нашей стране только по железной дороге перевозится 440 млн. т нефтепродуктов в год; ими загрязняются почва, воды и другие элементы окружающей среды. Кстати, в США нефтепродукты доставляются потребителям по системе трубопроводов: 2200 тыс. км труб помогают резко сократить потери горючего. Нефть, конечно, менее опасна, чем другие загрязнители природы, но огромный объем добычи и соответственно объем потерь делает ее существенным загрязнителем природы.

В огромных размерах происходит загрязнение водных ресурсов. Общее количество воды в гидросфере составляет 1400 млн. км³: 97% воды

находится в океанах и морях; 2,14% — в виде льда и только 0,29% в виде пресной воды на суше. Пресной воды у нас чрезвычайно мало. Однако бассейны рек, в том числе и бассейн Волги, постоянно загрязняются. Экологическая ситуация водных бассейнов ухудшается множеством расположенных в акваториях химических, целлюлозно-бумажных, нефтеперерабатывающих и текстильных заводов. Например, только один химический завод в Заволжске ежегодно сбрасывает в Волгу 45 тыс. т отходов анилино-красочной промышленности.

Тысячи предприятий, расположенных по берегам наших рек, ежегодно сбрасывают в эти реки >3 млн. м³ разбавленных кислот, около 2 млн. м³ жидких отходов с нефтепродуктами и миллионы кубометров воды, загрязненной солями, щелочами, минеральными маслами и красителями. Откуда берутся эти отходы? Загрязненные воды — результат современной промышленной технологии. При получении одной тонны синтетического волокна образуется 500 м³ сточных вод, а с учетом разбавления это количество увеличивается в десятки раз.

В современном промышленном производстве создаются громадные безвозвратные потери пресной воды, и это способствует возрастанию ее дефицита.

Воду загрязняют также земледельческие хозяйства, использующие средства защиты растений. Мы живем в век широкой химизации сельского хозяйства и лесоводства. Вместе с искусственными удобрениями в массовых количествах употребляются химические средства для борьбы с вредными организмами и сорняками. Они приносят серьезную пользу, помогая сохранить урожай сельскохозяйственных культур. Только в Советском Союзе они сохраняют 18—20% урожая.

Но эти же вещества благодаря массовому и подчас неправильному способу применения стали серьезным фактором возрастания экологической напряженности. Использование химических продуктов в сельском хозяйстве и лесоводстве стало предметом острой и обоснованной критики. Многие отрицательные последствия применения пестицидов связаны с тем, что на практике нарушаются научно обоснованные рекомендации по их использованию. Не учитываются нормы расхода, сроки применения, показания к использованию. Однако имеется и другая сторона этого вопроса.

В нашей стране допущены крупные просчеты при формировании химических систем защиты растений и обосновании требований к их использованию. Это привело к широкому развитию производства некоторых вредных для человека видов химической продукции, концентрированию в отдельных районах страны большого количества опасных химикатов и химических производств. Особенно ощутимый след оставила недооценка опасности чрезмерного развития хлорорганических производств.

Опасность хлорной продукции определяется не только высокой острой и хронической токсичностью такой крупнотоннажной продукции, как гексахлоран, ДДТ, полихлорциклоидены и другие, значительно более вредными и отдаленными последствиями обладают полихлорполициклические соединения (ПХПС)¹, образующиеся в виде примесей во многих процессах, где используются элементарный хлор и хлорсодержащие вещества вместе с ароматическими органическими соединениями (диоксин, дibenзофuran, хлоразобензол и подобные вещества). Особая опасность этих веществ обуславливается их высокой биологической активностью, высокой химической стабильностью в окружающей среде и в живых организмах и способностью к биопереносу в природе. Даже в ничтожных

¹ Более подробно см. статью А. Ф. Коломийца «Полихлорполициклические ксенобиотики» в настоящем номере.

концентрациях ПХПС подавляют иммунную систему организмов, снижают их способность к адаптации в изменяющихся условиях внешнего мира.

Такое воздействие сопровождается повышением чувствительности организмов к инфекционным, особенно вирусным заболеваниям, снижению умственной и физической работоспособности. В более высоких концентрациях (несколько десятков частей на триллион) ПХПС оказывают мутагенное, канцерогенное, тератогенное и эмбриотокическое действие, поражают центральную и периферическую нервную систему, пищевой тракт и другие органы.

Полихлорполициклические вещества, и в первую очередь 2,3,7,8-тетрахлордibenzo-*p*-диоксин (ТХДД) или просто диоксин, подавляют все аэробные микроорганизмы в экосистемах, которые, как известно, отвечают за накопление органических веществ, за сохранение и рост органического потенциала. В человеческом организме они подавляют генетически закодированные механизмы адаптации к природной среде, иммунную систему.

Интенсивное накопление ПХПС в природе началось в период развертывания производства ДДТ и гексахлорана. Особенно большие их количества поступили после создания производства полихлорфенолов и полихлорированных бифенилов. Но производство и использование хлорсодержащих пестицидов не является единственным источником ПХПС.

Они образуются также на целлюлозно-бумажных заводах при обезливании бумажной пульпы хлором или хлорирующими агентами. Не исключено появление этих ксенобиотиков в воде при ее хлорировании с целью обезвреживания.

Диоксин и дibenзофуран могут появляться в отходящих газах при сжигании в неоптимальном режиме мусора и отходов, содержащих хлорорганические материалы. Особенно опасным оказалось сжигание изделий из полихлорвинаила.

Обострение медицинской и экологической обстановки в хлопкосеющих районах Средней Азии, Молдавии, в рисосеющих районах Приазовья, напряженное состояние экосистем Азовского и Каспийского морей во многом объясняются недооценкой эффектов хлорной продукции и производств, поставляющих в природу ПХПС. Например, только на территории Узбекистана в течение последнего десятилетия применялось ежегодно около 6 тыс. т хлорсодержащих пестицидов (по действующим веществам), запрещенных за рубежом к применению.

В рисоводство страны внедрен и широко используется также запрещенный за рубежом гербицид пропанил, содержащий опасные полихлоразобензолы. В нашей стране продолжается производство гексахлорана и ДДТ. Производится гексахлорофен и дихлоранилин, содержащие опасные ксенобиотики или их предшественники.

Некоторые пестициды, запрещенные за рубежом, до последнего времени закупались по импорту (кельтан, тофос, диурон). В стране создано мощное производство полихлорвинаила и изделий из него, эксплуатация и уничтожение которых не контролируется. Функционирует большое число устаревших целлюлозно-бумажных производств, не имеющих эффективной очистки сточных вод, до сих пор не развернута замена хлорной обработки питьевой воды озонированием. Перечень подобных фактов можно продолжить.

Причиной возникновения этих противоречий служит в первую очередь отсутствие понимания экологических проблем, низкая экологическая культура. Так, у нас до сих пор не разработаны научные подходы к оценке экологической опасности химических реагентов. Отсутствует методология прогнозирования экологически приемлемых путей развития химической науки и промышленности. У нас нет еще сложившейся химической экологии.

Решения вопросов борьбы с химическими загрязнениями отражают устаревшие подходы к оценке экологической опасности химических агентов, поскольку они основаны на изучении свойств отдельных химических соединений. Такой подход не учитывает многих дополнительных факторов. В реальных условиях живое существо природы подвергается действию не одного вещества, а совокупности всех присутствующих в биосфере природных и созданных человеком химических веществ. При этом следует учитывать возможное сложение, вычитание и синергетические эффекты компонентов хемосферы. Например, в присутствии диоксинов резко повышается опасность действия на организм микотоксинов (афлатоксинов, ниваленолов), а также предвестников канцерогенов (ариламинов) и нейротоксических ядов.

Особенно важно отметить, что влияние на человека и природу могут оказывать не сами вещества, а сопутствующие им примеси, продукты распада и метаболизма. Необходимо учитывать также, что с появлением в природе чужеродных веществ и связанным с этим поражением экосистем происходит изменение состава хемосферы, направление и последствия которых мы не можем пока предсказать.

Приведенные примеры и факты показывают важность и значение воздействия химических веществ на напряженное состояние биосферы и необходимость внимательного исследования вопросов химической экологии.

Из опыта экологических исследований промышленно развитых стран следует, что полные характеристики экотоксичности химических агентов можно получить на базе фундаментальных знаний о хемосфере и ее воздействии на экосистемы. Между тем вызывает удивление, что в «Проекте концепций программы биосферных и экологических исследований АН СССР на период до 2015 г.», рассмотренном на общем собрании АН СССР, посвященном экологии, не включен в качестве одного из ведущих направлений исследований отдельный блок, посвященный химии биосферы и химическим антропогенным воздействиям на природу. Включенные в отдельные блоки проекта вопросы химии окружающей среды не содержат полного объема проблем химической экологии и отражают устаревший утилитарный подход к оценке экологической опасности химических агентов.

Представляется целесообразным включение в этот проект отдельного приоритетного направления: «Исследование хемосферы». Фундаментальные исследования в рамках этого блока должны предусматривать следующие разделы.

- Создание основ экотоксикологии как науки о влиянии химических агентов на биосферу и формирование методов экологического нормирования. При этом следует исходить из положения, что при использовании химических средств для интенсификации сельскохозяйственной деятельности стремление к максимальной биопродуктивности несовместимо с сохранением среды обитания. Поэтому с экологической точки зрения нужно очень осторожно подходить к так называемой интенсивной технологии сельского хозяйства.
- Научная разработка научных основ прогнозирования экологически безопасных путей развития химической промышленности, создания экологически сбалансированных промышленных технологий и применения химических средств. При этом должна быть осуществлена оценка риска безопасности самих химических производств. Необходимо также математическое моделирование распространения загрязнений всех видов. Вероятно, сюда же следует отнести изучение проблемы альтернативных топлив, а также работы по резкому снижению расхода воды промышленностью, например, путем замкнутого водоснабжения.

- Создание и реализация принципиально новых безотходных и малоотходных ресурсосберегающих технологий.
- Разработка эффективных методов очистки газообразных, жидких и твердых отходов на основе сорбционных, мембранных, каталитических и других технологических процессов.
- Разработка путей предупреждения химического и микробиологического загрязнения продуктов сельскохозяйственного производства и окружающей среды.
- Разработка научных подходов к оздоровлению экосистем, пораженных химическими агентами.
- Создание неперсистентных пестицидов и других химических средств, легко деградирующих и хорошо ассимилируемых в природной среде и не оказывающих на нее вредного действия.

Огромное значение для защиты окружающей среды имеет также информация о состоянии природных систем, особенно в смысле химического и других видов загрязнений. В настоящее время подавляющий объем оперативной биосферной информации поставляется искусственными спутниками Земли (разрешающая способность более 10 м). Однако такая информация удобна для «мониторинга площадей» и недостаточна для «мониторинга состояния» природных систем. Для развития наземного мониторинга большое значение имеет разработка удобных методик, приборов и оборудования для количественных измерений параметров внешней среды. Важную роль при этом играет создание аппаратуры и методик, использующих химические или физико-химические принципы. Разработка новых доступных приборов и методов увеличит точность, корректность и спектр измеряемых параметров природных систем.

Вот только некоторые из направлений исследований в области химической экологии, которые, безусловно, будут дополнены новыми направлениями при разработке программы химической экологии.

В связи с резким возрастанием риска поражения человека и природы с накоплением ксенобиотиков в окружающей среде в промышленно развитых странах налажено международное сотрудничество и созданы специальные национальные программы по этому разделу химической экологии. Например, с 1980 г. проводятся международные конференции по диоксину. Из крупных производителей и потребителей хлорных продуктов только наша страна не участвует в международном сотрудничестве по этой проблеме и пока не имеет никакой программы ее исследования. Углубление международного сотрудничества по вопросам химической и других отраслей экологии является также насущной необходимостью и должно быть существенной частью подготовляемых программ и проектов, направленных на защиту среды обитания.

Главная задача химической экологии состоит в сохранении жизненных качеств биосфера, предотвращении прогрессирующих загрязнений природной среды путем перестройки антропогенной деятельности, которая обеспечивала бы рост промышленного и сельскохозяйственного производства и при этом исключала бы вредное воздействие на природу. В конечном счете это разработка условий и мер, которые обеспечивают дальнейшее развитие человеческой цивилизации и выживание человечества.

Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмейнова
АН СССР, Москва