УДК 504.054 (476)

Т.Н. КУХАРЧИК

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫМИ БИФЕНИЛАМИ В БЕЛАРУСИ

In the paper the results of investigation of environmental pollution by polychlorinated biphenyls (PCBs) are discussed. Estimates of PCBs content in soil of background landscapes are given. Peculiarities of soil contamination by PCBs as result of PCBs leakage from damaged electrical equipment are analyzed. Dangerous of PCB spreading beyond the places of the PCB leakage are described.

Загрязнение окружающей среды полихлорированными бифенилами (ПХБ) - одна из современных глобальных экологических проблем. Синтезированные для промышленных целей в 1930-х гг. ПХБ на протяжении продолжительного времени не рассматривались как опасные химикаты; промышленные смеси на основе ПХБ и ПХБ-содержащая продукция производились и использовались во многих странах мира практически без ограничений и контроля. Первые данные о загрязнении окружающей среды ПХБ относятся к середине 1960-х гг., когда в Швеции при изучении распространения широко известного пестицида ДДТ были идентифицированы ПХБ [1]. В настоящее время ПХБ обнаруживаются повсеместно, в том числе в пределах фоновых территорий, включая Арктику и Антарктику - регионы, где ПХБ никогда не производились и не применялись [2-5]. Являясь ксенобиотиками - чуждыми природной среде веществами, ПХБ присутствуют во всех природных компонентах, включая атмосферный воздух, осадки, воду, донные отложения, почву, растения, а также в организмах человека и животных.

ПХБ, признанные приоритетными загрязнителями в глобальном масштабе, получили название «суперэкотоксиканты XXI века» наряду с такими веществами, как диоксины и ртуть [2, 6, 7]. Из 209 изомеров полихлорбифенилов 12 рассматриваются как «диоксиноподобные» и соответственно особо токсичные. Основная опасность ПХБ обусловлена их способностью перемещаться по пищевой цепи и аккумулироваться в жиросодержащих тканях животных. Даже при низких концентрациях ПХБ в компонентах природной среды имеется опасность их аккумуляции в организме человека как высшем звене пищевой цепи.

Наиболее важным механизмом глобального рассеяния ПХБ является атмосферный перенос, хотя в целом процессы перераспределения ПХБ в природных компонентах достаточно сложны и определяются как факторами внешней среды, так и свойствами самих соединений [2, 3, 5, 8].

Осознание опасности ПХБ наряду с другими стойкими органическими загрязнителями (СОЗ) привело к принятию ряда международных соглашений по регулированию их потоков в глобальном масштабе. В частности, Стокгольмская конвенция о СОЗ [9], которую подписала и Республика Беларусь, предусматривает прекращение использования ПХБ к 2025 г. и их уничтожение к 2028 г. Особое внимание уделяется загрязненным ПХБ территориям, в отношении которых должны быть приняты меры по очистке и восстановлению.

Актуальность изучения и оценки загрязнения окружающей среды Беларуси полихлорбифенилами обусловлена широкой сферой использования ПХБ-содержащего электрооборудования, неудовлетворительным во многих случаях его состоянием, а также рассредоточенностью источников ПХБ по территории страны, а значит, и потенциальной возможностью загрязнения природных компонентов в различных регионах и их последующим распространением [10, 11].

Материал и методика

В настоящей работе обобщены результаты собственных эколого-геохимических исследований, а также опубликованные данные, в частности, Метеорологического синтезирующего центра «Восток» (МСЦ-В, г. Москва), использованные для сравнительного анализа и характеристики тех природных компонентов, по которым пока замеры не производились.

Для изучения фоновых концентраций ПХБ в почвах пробы отбирались в различных ландшафтах Беларуси в пределах лесных и болотных экосистем, а также на сельскохозяйственных угодьях, удаленных от источников воздействия Всего проанализировано около 40 проб, 30 из которых характеризуют приповерхностный горизонт (до 10 см). С целью определения особенностей накопления ПХБ в почве вследствие утечек и разливов диэлектрических жидкостей, перераспределения ПХБ с латеральными и радиальными потоками выполнены обследования 49 подстанций распределительной сети, на которых ПХБ-содержащее оборудование установлено (или хранится) на открытых площадках, т. е. риск поступления ПХБ в окружающую среду наиболее высок. Подстанции рассредоточены по территории Беларуси и расположены во всех ландшафтных провинциях. Всего в зонах локальных источников воздействия отобрано около 180 почвенных проб методами ландшафтно-геохимического профилирования и упорядоченного отбора [12]. Донные отложения были взяты из ряда естественных и искусственных аквальных экосистем, расположенных в фоновых регионах, а также на урбанизированных территориях.

Химико-аналитические определения ПХБ в почвах и донных отложениях выполнены с использованием газового хроматографа с электронозахватным детектором и хромато-масс-спектрометрии в РНТЦ «Экомир». Определялись 7 изомеров ПХБ (28, 52, 101, 118, 138, 153 и 180); а для ряда образцов - суммы групп гомологов ПХБ [13]. Уровень загрязнения почв оценивался по санитарно-гигиеническим нормам - ориентировочно допустимым концентрациям (ОДК), а также критериям, разработанным в странах Евросоюза и США [14, 15].

Ранжирование административных районов Беларуси по потенциальной опасности загрязнения окружающей среды ПХБ выполнено на основании удельных потерь ПХБ от используемого и выведенного из эксплуатации оборудования с учетом накопленных запасов ПХБ и типов ПХБ-содержащего оборудования. Выделено 5 градаций опасности загрязнения

окружающей среды ПХБ: *1* - незначительная (при утечках ПХБ менее 1 кг в год), 2 - низкая (1÷10 кг), *3* - средняя (10÷50 кг), *4* - высокая (50÷100 кг) и 5 – наиболее высокая (при утечках ПХБ более 100 кг в год).

Результаты и их обсуждение

ПХБ в почвах. Основное внимание в ходе исследований уделялось почве, поскольку именно в почву поступают ПХБ с утечками и атмосферными выпадениями. Являясь депонирующим компонентом, почва рассматривается как важнейший источник реэмиссии ПХБ в атмосферу и включения их в глобальный круговорот [3, 5].

Установлено, что концентрация ПХБ в почвах фоновых территорий Беларуси варьирует от значений ниже предела чувствительности метода до 0,156 мг/кг. Самое низкое содержание ПХБ выявлено в дерново-подзолистых песчаных почвах водно-ледниковых, озерно-ледниковых и камово-моренных ландшафтов. В целом различия в накоплении ПХБ более четко прослеживаются между почвами различного механического состава, чем между различными видами ландшафтов. Так, среднее содержание ПХБ в дерново-подзолистых песчаных почвах составляет 0,016 мг/кг, в супесчаных - 0,036 мг/кг. Подтверждена закономерность аккумуляции ПХБ в приповерхностных горизонтах почвы и подстилке. Первые замеренные фоновые концентрации для условий Беларуси сопоставимы с данными для других регионов Европы - 0,002÷0,04 мг/кг [2, 17], а также с расчетными МСЦ «Восток» - 0,01÷0,03 мг/кг [18].

Практически во всех проанализированных пробах доминируют трихлорбифенилы, представленные изомером ПХБ-28. Это достаточно точно подтверждает их поступление с трансграничным воздушным переносом, в котором участвуют наиболее летучие низкохлорированные соединения [3, 8].

Значительная вариабельность концентраций ПХБ выявлена в почвах урбанизированных ландшафтов, что обусловлено разнообразием источников поступления ПХБ. В результате анализа почвенных проб, отобранных в различных функциональных зонах г. Минска, установлено, что содержание ПХБ колеблется от значений ниже чувствительности метода до 7,88 мг/кг, наиболее высокие показатели зафиксированы в промышленных зонах города.

В почвах городских ландшафтов заметно повышается доля тетра- и пентахлорбифенилов, т. е. высокохлорированных соединений. Среди наиболее вероятных причин - участие техногенных грунтов в формировании городских почв, привнос золы, строительного мусора и прочих отходов, которые отличаются крайне неоднородным соотношением соединений ПХБ [19].

Несомненно, урбанизированные территории заслуживают более пристального внимания в отношении изучения содержания ПХБ в природных компонентах, поскольку именно здесь сконцентрированы их наибольшие объемы, в частности, объем накопленных ПХБ в Минске оценивается в 270 т; 150 предприятий являются владельцами ПХБ-содержащих конденсаторов и трансформаторов.

Наиболее высокие уровни загрязнения почв выявлены на территории подстанций распределительной сети, т. е. в местах эксплуатации и хранения электрооборудования, заполненного диэлектрическими жидкостями на основе ПХБ. Так, на площадках батарей статических конденсаторов (БСК) сумма ПХБ может достигать нескольких граммов на килограмм почвы, что обусловлено утечками жидкости из оборудования. В ряде случаев экстремально высокое содержание ПХБ в почве выявляется визуально по «выжженной» растительности, замасленной почве и специфическому запаху. Зафиксированные уровни в сотни тысяч и миллионы раз превышают ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) ПХБ в почве - 0,02 мг/кг [14]. Более того, концентрации ПХБ в ряде случаев значительно выше принятых в международной практике для осуществления мер по очистке и восстановлению

почв. Например, согласно Стокгольмской конвенции о СОЗ экологически безопасному удалению (обеззараживанию) подлежат субстраты с содержанием ПХБ 50 мг/кг [9]. Если эта величина составляет 500 мг/кг, то Агентством по охране окружающей среды США почвы приравниваются к ПХБ-содержащим материалам, которые подлежат изъятию и утилизации [15].

Чаще всего территории с наиболее загрязненными почвами имеют небольшие размеры (около 0,05 $м^2$); в местах аварийных разливов они достигают 1 $м^2$ и более. В целом выявлена крайне мозаичная картина распределения ПХБ в почве на участках установки конденсаторных батарей, что в значительной степени обусловлено характером поступления ПХБ: медленным вытеканием жидкости из поврежденного оборудования, аварийными разливами, разбрызгиванием при взрывах конденсаторов и др. Так, на некоторых из них площадью всего 45+60 $м^2$ кратность превышения максимальных значений над минимальными достигает десятков и сотен тысяч раз.

Наиболее значительные участки сильно загрязненных почв выявлены на подстанции в д. Минойты (Лидский р-н, Гродненская обл.). Общая площадь сильно загрязненных почв составляет примерно 1600 $м^2$. Следует отметить, что подстанция расположена в пределах моренно-зандровой равнины с преимущественно флювиогляциальными отложениями. Плоский характер местности, а также легкие песчаные грунты способствуют преимущественно радиальному перемещению загрязняющих веществ. Так, на месте демонтированной конденсаторной батареи даже на глубине 1 м содержание ПХБ составляет 940 мг/кг.

Опасность утечек обусловлена не только высоким уровнем загрязнения почв непосредственно в местах использования ПХБ-содержащего оборудования, но и последующим распространением загрязняющих веществ с различными миграционными потоками, захватывающими прилегающие территории, в том числе используемые для выращивания сельскохозяйственной продукции. Результаты выборочного исследования показали, что высокие уровни ПХБ с многократным превышением ОДК обнаруживаются на расстоянии до 150 м от мест установки ПХБ-содержащего оборудования (табл. 1). Максимальные значения ПХБ (23,0 мг/кг) зафиксированы, например, в 100 м от конденсаторной батареи на подстанции «Быхов», что связано с положением точки опробования на днище четко выраженной в рельефе ложбины и свидетельствует о распространении ПХБ с поверхностным стоком. В большинстве же случаев миграция ПХБ обусловлена воздушными потоками, что характерно для всех групп СОЗ. Не исключается также механическое перемещение ПХБ с частицами почвы, скошенной травой, метелевыми переносами и др.

Таблица 1

Изменение содержания ПХБ в почве на различном расстоянии от источника

Место отбора проб	Количество проб	Содержание ПХБ, мг/кг	
		Пределы	Среднее
На площадках БСК	122	0,09÷82 000	8122
На расстоянии 3÷5 м от БСК	37	Н. о.÷102	7
На расстоянии 10÷150 м от БСК	24	Н. о.÷23	0,9
Региональный фон (более 1 км от источника)	30	Н. о.÷0,165	0,035

Примечание. Н. о. здесь и далее – не обнаружено.

Из общего количества проанализированных проб на площадках БСК в 33% случаев содержание ПХБ превышает уровень 500 мг/кг, в 17% находится в пределах 50÷500 мг/кг и примерно в 40 % - 1÷50 мг/кг. Это означает, что в большинстве случаев на подстанциях, где использовались или используются ПХБ-содержащие конденсаторы, почвы сильно загрязнены и подлежат очистке. За пределами площадки БСК в 3÷5 м от конденсаторной установки концентрация ПХБ изменяется от величины ниже предела

обнаружения метода определения до 102 мг/кг. В 60 % случаев содержание ПХБ составляет более 1 мг/кг, превышая ОДК в десятки и сотни раз.

ПХБ в поверхностных водах. Первые шаги по изучению содержания ПХБ в поверхностных водах Беларуси были предприняты в начале 2000-х гг. при выполнении ряда международных проектов ПРООН по трансграничным рекам (Днепр, Зап. Буг). В отобранных пробах ПХБ не были зафиксированы [11]. Согласно последним опубликованным данным [20], в пробах поверхностной воды из Вилейско-Минской водной системы и р. Сож концентрация 7 изомеров ПХБ колеблется в пределах 0,1÷1,0 нг/дм^3. В целом изучение загрязнения ПХБ поверхностных вод - сложная задача как в методическом плане (отбор проб), так и в химико-аналитическом (высокие требования к чувствительности метода и точности измерений).

ПХБ в донных отложениях. Надежным индикатором состояния водоемов и водотоков, широко используемым в практике ландшафтно-геохимических исследований, являются донные отложения. По полученным результатам, содержание суммы 7 изомеров ПХБ в донных отложениях исследованных водотоков и водоемов Беларуси варьирует от значений ниже предела чувствительности метода до 23,2 мг/кг (табл. 2). Поскольку санитарно-гигиенические нормативы для донных отложений не разработаны, нами использовано значение 0,07 мг/кг сух. в-ва, соответствующее нижнему уровню наблюдаемого эффекта [21]. Приведенные в таблице данные свидетельствуют о загрязнении донных отложений большинства обследованных водоемов и водотоков, расположенных на урбанизированных территориях.

Таблица 2

Содержание ПХБ в донных отложениях, мг/кг

Место отбора проб	Количество проб	Сумма 7 изомеров ПХБ
Фоновые территории (реки Гайна, Подвейна, Черница, Вилейское вдхр.)	5	Н. о.÷0,065
Урбанизированные территории:		
вдхр. Лошица и Чижовское, р. Слепня - на территории г. Минска	7	0,023÷0,828
вдхр. Лидское, р. Лидейка - на территории г. Лида	3	0,598÷23,2
р. Двиноса - ниже г. Плещеницы	1	7,8
безымянный ручей в г. Полоцк	1	Н.о.

Экстремально высокие значения зафиксированы в донных отложениях Лидского водохранилища (г. Лида, Гродненская обл.), что может быть связано с расположением на водосборе промплощадки ОАО «Лакокраска», где продолжительное время использовался совол пластификаторный (пентахлордифенил). Подтверждением возможности выноса загрязняющих веществ с поверхностным стоком являются результаты выборочного анализа почв промплощадки данного предприятия: зафиксированные значения ПХБ варьируют от 1,5 до 57,9 мг/кг.

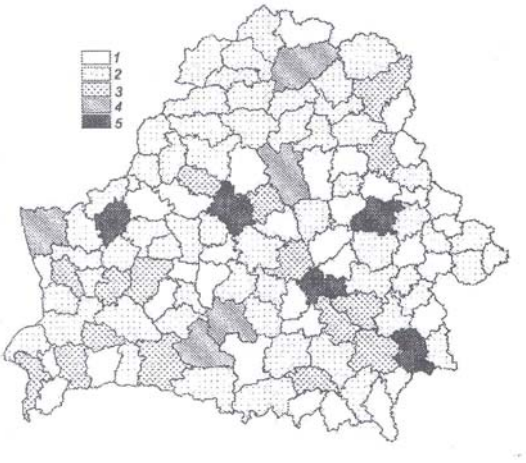
ПХБ в *атмосферном воздухе.* Данные замеров содержания ПХБ в атмосферном воздухе Беларуси отсутствуют. Согласно расчетам МСЦ-В, в конце 1990-х гг. содержание ПХБ в атмосферном воздухе оценивалось на уровне 0,10÷0,13 нг/м^3 [22], что близко результатам замеров фоновых территорий европейских стран [17].

Повышенное содержание ПХБ следует ожидать в воздухе городов, где сконцентрированы основные источники поллютантов. Это подтверждается многочисленными исследованиями в европейских странах и США [2, 17]. Однако наиболее высокие уровни ПХБ в атмосферном воздухе характерны для мест установки и использования ПХБ-содержащего оборудования. Здесь в большинстве случаев фиксировался сильный специфический запах хлорорганических соединений, при этом в летнее время при температуре воздуха более 20÷25 °С испарения полулетучих соединений были наиболее

ощутимыми. Это свидетельствует о необходимости экспериментальных исследований содержания ПХБ в зонах локальных источников воздействия.

Опасность загрязнения окружающей среды ПХБ. Как показали результаты экспериментальных исследований, локальные по характеру использования площадки ПХБ-содержащего оборудования становятся не только очагом формирования местных аномалий, но и источником регионального загрязнения. Вследствие утечек жидкости формируются новые (вторичные) источники ПХБ, зона влияния которых практически не ограничена в силу свойств указанных соединений перемещаться с воздушными и водными потоками, включаться в биологический круговорот и распространяться далеко за пределы мест их использования и хранения. Поскольку имеющиеся химико-аналитические данные пока не позволяют отразить особенности пространственного распределения ПХБ в Беларуси, нами составлена картосхема потенциальной опасности загрязнения окружающей среды с учетом интенсивности техногенных нагрузок (рисунок).

Установлено, что наиболее высокая потенциальная опасность загрязнения природной среды характерна для Минского, Гомельского, Могилевского, Бобруйского и Лидского районов, на территории которых накоплены и используются значительные объемы ПХБ, а ежегодные утечки которых могут превышать 100 кг. Еще для 5 районов (Борисовского, Солигорского, Полоцкого, Гродненского и Лунинецкого) опасность оценивается как высокая, где утечки составляют более 50 кг в год. Среди остальных районов 16 характеризуются средней опасностью загрязнения, 58 - низкой и 35 - незначительной. В целом картосхема позволяет выявить регионы наибольшего экологического риска и может явиться основой при выборе приоритетных объектов для последующего их изучения.



Картосхема потенциальной опасности загрязнения окружающей среды Беларуси ПХБ: *1* – незначительная, *2* – низкая, *3* – средняя, *4* – высокая, *5* – наиболее высокая

***

Выполненные исследования подтвердили существование проблемы загрязнения окружающей среды ПХБ в Беларуси. К настоящему времени проанализированы почвы, для которых установлены фоновые концентрации, а также особенности их загрязнения в зонах локальных источников воздействия. Установлено, что почвы загрязнены практически на всех объектах, использующих ПХБ-содержащее оборудование на открытых площадках. Общее количество таких объектов только в системе энергоснабжения более 100. Это означает, что изучение почв в местах установки и хранения ПХБ-содержащего оборудования представляется наиболее важным с точки зрения оценки опасности загрязнения, выявления «горячих» точек» и принятия мер по очистке территорий.

Высокие уровни загрязнения почв ПХБ в местах установки и хранения ПХБ-содержащего электрооборудования свидетельствуют не только о неблагоприятной экологической ситуации непосредственно в пределах объектов, но и о распространении ПХБ с водными и воздушными потоками на

прилегающие территории. В этих условиях создается реальная угроза накопления ПХБ в сельскохозяйственной продукции, в других биотических компонентах и их поступления в организм человека. Наиболее высокие уровни накопления ПХБ за пределами площадок их использования выявлены в супераквальных ландшафтах, которые должны рассматриваться как территории повышенного экологического риска при обследовании и принятии решений.

Учитывая угрозу дальнейшего распространения ПХБ в окружающей среде, а также обязательства Беларуси по Стокгольмской конвенции, в ближайшей перспективе необходимо продолжение исследований в зонах локальных источников воздействия, выявление загрязненных участков, оценка масштабов загрязнения для разработки планов действий и выбора технологий по очистке. К числу важнейших задач относится также изучение и оценка уровня накопления ПХБ в сельскохозяйственной продукции, выращиваемой на загрязненных почвах, и оценка экологического риска.

1. Jensen S. // New Scientist. 1966. Vol.32. P. 312.
2. Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs). Syracuse Research Corporation. Under Contract No. 205-1999-00024. 2000.
3. Meijer S.N., Ockenden W.A., Sweetman A. et al. // Environ. Sci. Technol. 2003. Vol. 37. P. 667.
4. Загрязнение Арктики: Доклад о состоянии окружающей среды Арктики / АМАП. СПб., 1998.
5. Ockenden W.A., Breivik K., Meijer S .N . et al. // Environmental Pollution. 2003. Vol. 121. P. 75.
6. PCBs: Cancer Dose-Response Assessment and Application to Environmental Mixtures. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. EPA/600/P-96/001F. 1996.
7. Худолей В.В., Гусаров Е.Е., Клинский А.В. и др. Стойкие органические загрязнители: пути решения проблемы. СПб., 2002.
8. Wania F., Mackay D. // Environ. Sci. Technol. 1996. Vol. 30 № 9. P. 390.
9. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях / UNEP. Geneve, 2001.
10. Кухарчик Т.И., Какарека СВ., Крылович А.В., Козыренко М.И. // Природные ресурсы. 2005. № 1. С. 78.
11. Национальный план выполнения обязательств, принятых Республикой Беларусь по Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях, на 2007-2010 годы и на период до 2028 года. Мн., 2006.
12. Кухарчик Т.И., Хомич В.С., Какарека СВ. и др. // Природопользование. 2006. Вып. 12. С. 58.
13. Субоч В.П., Ковалев А.А., Воропай Е. Н. // Природ, ресурсы. 2005. № 3. С. 108.
14. Гигиенические нормативы 2.1.7. 12-1-2004 // Сборник нормативных документов по разделу коммунальной гигиены. Мн., 2004. С. 28.
15. 40 CFR. Part 761—Polychlorinated Biphenyls (PCBs): Manufacturing, Processing, Distribution in Commerce, and Use Prohibitions / Environmental Protection Agency. USA, 2002. P. 542// www.epa.gov
16. Нацыянальны атлас Беларусі / Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэспублікі Беларусь. Мінск, 2002.
17. Dioxins & PCBs: Environmental Levels and Human Exposure in Candidate Countries. NV.C.2/SER/2002/0085. Brussels, 2004.
18. Investigation and Assessment of POP Transboundary Transport and Accumulation in Different Media. Part I. EMEP Report 4 / MSC- East. Moscow, 2000.
19. Кухарчик Т.И., Какарека СВ., Хомич В.С. и др. // Природ, ресурсы. 2006. №2. С. 93.
20. Марусич Н.И., Кремко Л.М., Федорова Т.В., Веремейчик Е.В. // Здоровье и окружающая среда: Сб. науч. тр. Мн., 2006. Вып. 7. С. 240.
21. Evaluating Ecosystem Results of PCB Control Measures Within the Detroit River-Western Lake Erie Basin /T. Heidtke et al. 2002, Windsor. 2003. http: // www.tellusnews.com
22. Трансграничное загрязнение Беларуси тяжелыми металлами и стойкими органическими загрязнителями / ЕМЕП/МСЦ-В. М., 2003. № 6.

Поступила в редакцию 02.02.07.

Тамара Иосифовна Кухарчик - кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси.