

ГЕАХІМІЯ
GEOCHEMISTRY

УДК 504.5:631.4 (476)
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-2-216-225>

Поступила в редакцию 02.08.2017
Received 02.08.2017

Т. И. Кухарчик, М. И. Козыренко

Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

**ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПХБ В ПОЧВАХ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ЛАКОКРАСОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ г. ЛИДА, БЕЛАРУСЬ)**

Аннотация. Одной из сфер применения полихлорированных бифенилов (ПХБ) на протяжении многих лет являлось лакокрасочное производство. В Беларуси совол пластификаторный (пентахлордифенил) использовался на ОАО «Лако-краска» в г. Лиде (Гродненская область). Утечки и разливы совола, готовой продукции, загрязненных сточных вод, а также рассеяние отходов привели к загрязнению почв опасными веществами. В статье обобщены результаты исследования содержания ПХБ в почве на промплощадке и в санитарно-защитной зоне, выполненные в период с 2004 по 2014 гг. и включавшие определение 7 изомеров ПХБ (28, 52, 101, 118, 153, 138, 180). Установлено снижение содержания ПХБ за указанный период, обусловленное, вероятно, естественной деградацией органических соединений: в среднем концентрация суммы 7 изомеров ПХБ снижалась с интенсивностью примерно 2 мг/кг или 9 % в год. Показано, что несмотря на почти 20-летний период после окончания применения совола, территория промплощадки остается загрязненной, а остаточные концентрации соединений ПХБ в десятки и сотни раз превышают установленные нормативы. Выявленное сходство изомерного состава ПХБ в почвах промплощадки и прилегающей территории, особенно в отложениях ложбины стока со стороны предприятия свидетельствует о перераспределении ПХБ с поверхностным стоком и формировании вторичных аномалий. Поскольку при дехлорировании ПХБ возможно образование высокоопасных диоксино-подобных соединений, целесообразно развитие исследований с расширением перечня контролируемых изомеров ПХБ.

Ключевые слова: полихлорированные бифенилы (ПХБ), загрязнение почв, лакокрасочное производство, совол пластификаторный, тренды концентраций ПХБ, изомерный состав ПХБ

Для цитирования. Кухарчик, Т. И. Изменение содержания ПХБ в почвах в зоне воздействия лакокрасочного производства (на примере г. Лида, Беларусь) / Т. И. Кухарчик, М. И. Козыренко // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2018. – Т. 54, № 2. – С. 216–225. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-2-216-225>

T. I. Kukharchyk, M. I. Kazyrenka

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

**TRENDS OF PCBs CONTENT IN SOILS IN IMPACT ZONE OF PAINT AND VARNISH MANUFACTURE
(ON AN EXAMPLE OF LIDA CITY, BELARUS)**

Abstract. Technical mixtures based on PCBs (Sovol plasticizer) were used for the more than 30 years for paint and varnish manufacture in Lida city (Grodno region, Belarus). Soils on the territory of enterprises and adjacent area have been contaminated as a result of Sovol leakages as well as releases of waste water and solid waste. Investigations of PCBs content in soil have been fulfilled in the period from 2004 to 2014. PCB congeners (PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-153, PCB-138 and PCB-180) in soil samples were detected by gas chromatography with ECD and chromatography mass spectrometry. Since the start of investigation, PCBs content in soil has been decreased with the rate of about 2 mg / kg, or 9 %, per year. Despite the almost 20-year period after Sovol was banned, the industrial area is still contaminated and the residual concentrations of PCBs are higher in dozens and hundreds times than maximum permissible level. The similarity of the PCB congeners profiles in the soils of the industrial site and the adjacent area, especially in the runoff area, indicates the redistribution of PCBs with runoff and the formation of secondary pollution site.

Keywords: polychlorinated biphenyls (PCBs), Sovol, soil contamination, paint and varnish manufacture, trends of PCBs, PCB congeners profile

For citation. Kukharchyk T. I., Kazyrenka M. I. Trends of PCBs content in soils in impact zone of paint and varnish manufacture (on an example of Lida city, Belarus). *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk=Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2018, vol. 54, no. 2, pp. 216–225 (In Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-2-216-225>

Введение. Интерес к изучению поведения полихлорированных бифенилов (ПХБ) в почвах, других компонентах природной среды и выявлению трендов их содержания весьма высок, что обусловлено, с одной стороны, необходимостью понимания процессов естественной деградации ПХБ, с другой – оценкой результативности предпринятых усилий по их регулированию в рамках международных и региональных соглашений (Стокгольмской конвенции по СОЗ, Протокола по СОЗ, ХЕЛКОМ, Базельской конвенции и др.) и национальных действий. Выполненные к настоящему времени исследования в большинстве случаев свидетельствуют об устойчивых трендах снижения данной группы загрязнителей [1–3], что согласуется с расчетами и моделированием техногенных потоков ПХБ в глобальном масштабе, максимум которых приходился на 1970–1980-е годы [4, 5]. Вместе с тем в отношении почв и донных отложений тренды не всегда подтверждаются [6]. В случае когда сохраняются источники поступления ПХБ, их концентрация в почве даже увеличивается [7].

Особое внимание привлекают территории, где высокие концентрации ПХБ, многократно превышающие предельно допустимые уровни и представляющие опасность для здоровья человека и природных экосистем, сохраняются на протяжении нескольких десятилетий после прекращения воздействия. Хорошо известны примеры Серпуховского конденсаторного завода и ОАО «Оргстекло» в г. Дзержинске, Россия [8–11], Усть-Каменогорского конденсаторного завода, Казахстан [12], химического завода Сполатоне, Словакия [13] и др.

К территориям с ретроспективными источниками загрязнения почв ПХБ относятся промплощадки (зоны воздействия) лакокрасочных производств, где использовались промышленные смеси на основе ПХБ в качестве пластификатора. В глобальном масштабе для этих целей было использовано 25 % общего объема произведенных ПХБ [14]. В бывшем СССР на долю производства лаков и красок пришлось около 20 % (37 тыс. т) использованных ПХБ [15]. При этом если в экономически развитых странах производство ПХБ-содержащих лаков и красок было запрещено еще в середине 1970-х годов, то в бывшем СССР, в том числе и в Беларуси, оно продолжалось еще более 20 лет.

В Беларуси совол пластификаторный (пентахлордифенил) использовался на ОАО «Лакокраска» в г. Лиде (Гродненская область) начиная с середины 1960-х годов на протяжении почти 30 лет; общий его объем оценивается в 5 тыс. т [16]. Поступление ПХБ в окружающую среду могло происходить в результате утечек совола во время его транспортировки и переливов, расфасовки ПХБ-содержащих лаков и красок, с загрязненными сточными водами и отходами.

Цель работы – обобщить результаты загрязнения почв ПХБ в зоне воздействия лакокрасочного производства, показать уровни загрязнения, основные тренды изменения содержания семи изомеров ПХБ за 11-летний период и пути их перераспределения.

Объекты, материалы и методы исследований. Объекты исследования – промплощадка и прилегающая территория лакокрасочного производства, расположенного в г. Лиде Гродненской области. Промплощадка предприятия расположена на окраине города на левом берегу р. Лидеи с четко выраженным уклоном к реке. Рекогносцировочные исследования были выполнены в 2004 и 2006 гг. [17], детальные исследования проведены в 2008, 2011 и 2014 гг. в рамках локального мониторинга почв. Пробы почв отбирали преимущественно из поверхностного горизонта (до 10 см), в ряде случаев осуществляли отбор нижележащих горизонтов. Для выявления путей миграции загрязняющих веществ с поверхностным стоком отбирали отложения (наносные иловатые грунты) по ложбине стока.

К настоящему времени на промплощадке предприятия отобрано и проанализировано 85 проб (из них 70 из поверхностного горизонта), в санитарно-защитной зоне за пределами промплощадки – 40 проб (32 пробы из поверхностного горизонта).

Химико-аналитические исследования выполняли с использованием метода хроматомасс-спектрометрии (НР 5890/5972) и газовой хроматографии с электрозахватным детектором, согласно МВИ.МН 2126–2004 и СТБ ИСО 6468–2003. В 2004 г. определяли 6 изомеров ПХБ: ПХБ-10, 28, 52, 138, 153 и ПХБ-180, в последующие годы – 7: ПХБ 28, 52, 101, 118, 153, 138, 180. С целью получения общего содержания ПХБ сумма 7 изомеров умножалась на фактор 5 в соответствии с практикой, принятой в других странах [18].

Для оценки уровня загрязнения почв использованы значения ОДК: сумма ПХБ – 0,02 мг/кг; ПХБ 28 и ПХБ 52 – 0,001 мг/кг; ПХБ 101, ПХБ 118, ПХБ 138, ПХБ 153 и ПХБ 180 – 0,004 мг/кг [19].

Результаты и их обсуждение. За весь период наблюдений ПХБ обнаруживались во всех пробах почвы, отобранных на промплощадке лакокрасочного производства, а также практически во всех пробах (за исключением 6 случаев) за ее пределами. Максимальное содержание ПХБ (суммы 7 изомеров) было выявлено в 2008 г. и составило 61,2 мг/кг сухого вещества. Близкие значения были получены в 2004 г. – 57,88 мг/кг. Суммарное содержание ПХБ в почвах наиболее загрязненных участков оценивается в ~300 мг/кг. Для сравнения отметим, что среднее содержание суммы ПХБ в почвах фоновых территорий в глобальном масштабе составляет 0,0054 мг/кг [20]. Согласно международным требованиям в отношении ПХБ, субстраты, содержащие ПХБ на уровне 50 мг/кг и больше, относятся к ПХБ-содержащим отходам, подлежащим регулированию экологически безопасным способом [21].

На рис. 1 представлено распределение содержания ПХБ в почвах в зоне воздействия лакокрасочного производства по данным всей совокупности выборки проб, ранжированных в зависимости от удаленности цеха по производству ПХБ-содержащих лакокрасочных материалов. Наиболее высокие концентрации ПХБ в пробах почв, отобранных в местах обращения с сырьем и материалами (производственного и тарного цехов, складов готовой продукции), подтвердили предположение об основном источнике ПХБ – утечках и разливах технических смесей.

Анализ полученных данных за 11-летний период свидетельствует о снижении содержания данных поллютантов с течением времени. Так, содержание суммы 7 изомеров ПХБ в поверхностном горизонте почв промплощадки изменялось в следующих диапазонах: 2004 г. – 1,53–57,88 мг/кг (среднее – 23,04), 2006 г. – 0,09–38,44 (11,55), 2008 г. – 0,06 – 61,18 (8,78), 2011 г. – 0,18–13,19 (3,66), 2014 г. – 0,06–12,78 (2,99) мг/кг сухого вещества (таблица).

В среднем за период с 2004 по 2014 г. концентрация суммы 7 изомеров ПХБ в почвах промплощадки снижалась с интенсивностью ~ 2 мг/кг в год или на 8,7 % (рис. 2).

Наиболее выражен тренд снижения содержания ПХБ в почвах в пределах одного из наиболее загрязненных участков на территории промплощадки (рис. 3).

Содержание 7 изомеров ПХБ в почвах прилегающей территории существенно ниже по сравнению с промплощадкой: замеренный диапазон в 2004 г. составил 0,08–2,17 мг/кг сухого вещества (среднее содержание 0,68), в 2006 г. – 0,026–0,120 (0,08), в 2008 г. – н.о – 0,361 мг/кг (0,12), в 2011 г. – 0,072–1,117 (0,43) и в 2014 г. – 0,035–0,161 (0,11) мг/кг сухого вещества. В отличие от промплощадки, четкого тренда в изменении содержания ПХБ нет.

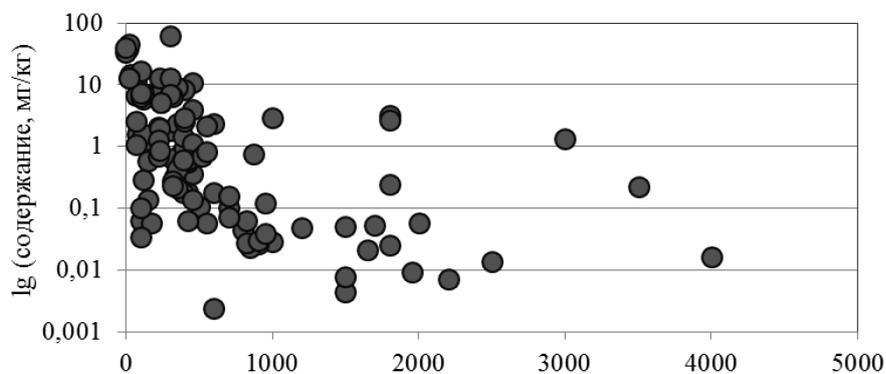


Рис. 1. Распределение содержания суммы 7 изомеров ПХБ в поверхностном горизонте почв с удалением от источника загрязнения

Fig. 1. Distribution of the sum of 7 PCB congeners in the surface soils, depending on the distance from the source of contamination

Среднее содержание 7 изомеров ПХБ в поверхностном горизонте почвы промплощадки лакокрасочного производства и прилегающей территории, мг/кг сухого вещества
Average content of 7 PCB congeners in surface soil of industrial site of paint and varnish production and adjacent area, mg/kg dry matter

Год	Кол-во проб	ПХБ-28	ПХБ-52	ПХБ-101	ПХБ-118	ПХБ-153	ПХБ-138	ПХБ-180	Сумма 7 изомеров
Территория промплощадки									
2004	4	1,001	4,196	н.д.	н.д.	6,369	10,526	0,639	23,042*
2006	11	0,149	0,793	2,095	3,227	2,018	3,002	0,262	11,546
2008	27	0,126	0,628	1,616	3,648	0,842	1,778	0,146	8,783
2011	15	0,053	0,369	0,846	0,951	0,923	0,430	0,085	3,656
2014	15	0,007	0,231	0,657	0,910	0,692	0,445	0,054	2,996
Прилегающая территория**									
2004	5	0,206	0,071	н.д.	н.д.	0,113	0,236	0,024	0,677*
2006	6	0,036	0,020	0,004	0,007	0,004	0,005	0,000	0,076
2008	5	0,000	0,006	0,025	0,039	0,015	0,040	0,000	0,125
2011	3	0,006	0,023	0,069	0,144	0,123	0,057	0,007	0,431
2014	3	0,001	0,006	0,021	0,032	0,030	0,019	0,003	0,111

* Сумма изомеров ПХБ-28, 52, 153, 138 и 180.

** Прилегающая территория исследовалась в пределах санитарно-защитной зоны на расстоянии до 700 м от основных источников загрязнения.

Снижение содержания ПХБ в почве может быть следствием их естественной деградации при отсутствии источников поступления, хотя в отношении интенсивности процессов их разложения нет однозначных количественных показателей, применимых ко всем условиям. Это связано как с разнообразием технических смесей на основе ПХБ, разной степенью их хлорирования и соотношения изомеров, так и многообразием природных условий, определяющих поведение ПХБ. По обобщениям данных [22], период полураспада изомеров ПХБ-18 и 28 в почвах составляет от менее 1 до 8,5 лет. Указано, что деградация зависит от количества органического вещества: при его содержании более 10 % в течение года отмечена деградация 5 % Арохлора 1254, тогда как в суглинистой и песчаной почве с содержанием органического вещества 0,1 % деградировало около 25 % исходного его содержания. В связи с медленной деградацией ПХБ не всегда возможно получить количественные оценки скорости. Имеются сведения о замедлении процессов дехлорирования с течением времени [23].

О существенных различиях в изменении содержания изомеров ПХБ с течением времени свидетельствуют результаты исследований В. Лид с соавторами [24]. Так, если содержание трихлор-

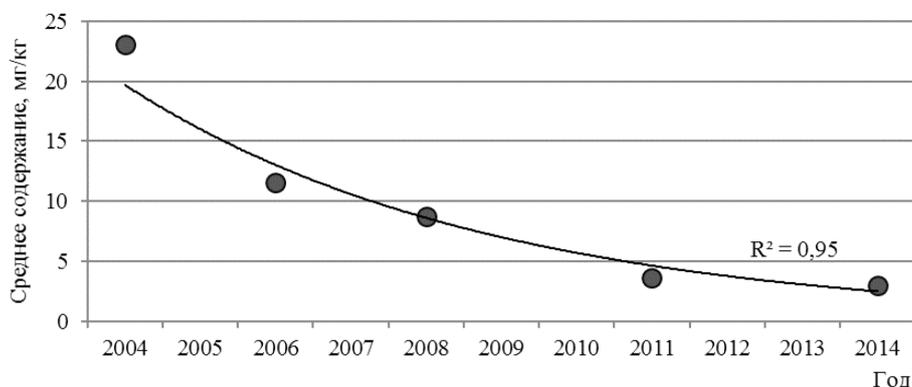


Рис. 2. Снижение содержания суммы 7 изомеров ПХБ в почвах промплощадки лакокрасочного производства в г. Лиде за период с 2004 по 2014 г.

Fig. 2. Decrease of the sum of 7 PCB congeners in the soils of industrial site of paint and varnish production in Lida from 2004 to 2014

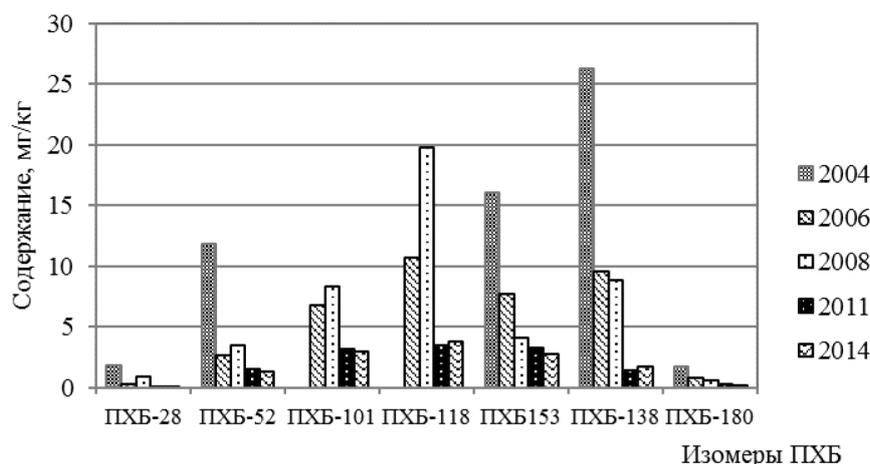


Рис. 3. Изменение содержания изомеров ПХБ в почве наиболее загрязненного участка, расположенного у цеха по производству лакокрасочной продукции
 Fig. 3. The change of PCB congeners content in the soil of the most polluted sites near the shop for paint and varnish production

бифенилов в почвах фоновых территорий Великобритании за период с 1951 по 1993 г. уменьшилось в 1000 раз, то октахлордифенилов только в 5 раз. По данным [25], снижение содержания двух основных соединений ПХБ (118 и 105) в донных отложениях за 40-летний период составило 29 %. Для морской биоты Швеции интенсивность снижения содержания ПХБ за период с конца 1990-х по 2012 г. варьировала от 2 до 9 % в год [3].

В условиях промплощадки оценить влияние природных условий на процессы деградации ПХБ тем более сложно, поскольку почвы существенно трансформированы, отличаются щелочной реакцией среды и повышенным содержанием органического вещества [26]. По сути, даже эти два фактора могут иметь прямо противоположный результат, поскольку с увеличением значения pH дехлорирование ПХБ повышается [27], а с увеличением содержания органического вещества ПХБ связываются и закрепляются [13]. В условиях промплощадки, где зачастую имеет место реконструкция и перепланировка открытых газонов или специальное их обустройство, возможны также процессы «разбавления» ПХБ за счет перемешивания с насыпными чистыми или железящими грунтами.

Выполненные исследования показали, что в целом отмечается снижение содержания всех определяемых изомеров и сохранение схожей структуры изомерного состава (рис. 4). Отмечается увеличение доли таких изомеров, как ПХБ-101 и ПХБ-153, снижение – ПХБ-138. Вероятно, вариабельность соединений ПХБ в почве обусловлена неоднозначными процессами их деградации. ПХБ могли оказаться в почве несколько десятилетий назад (с момента применения совола в производстве – середины 1960-х годов) и утечки ПХБ могли происходить практически до конца 1990-х годов. За это время происходили разнонаправленные процессы: с одной стороны, «запасы» ПХБ пополнялись за счет продолжающегося использования ПХБ и возможных утечек ПХБ, с другой – снижались за счет естественной деградации ПХБ. Несомненно, первый фактор доминировал на протяжении всего времени применения совола, в последующем при отсутствии источника поступления ПХБ в почву последовали процессы разложения данных соединений.

Следует подчеркнуть, что весьма четко прослеживается связь изомерного состава ПХБ в почве с составом совола пластификаторного, в котором, по данным [28], преобладали пентахлорбифенилы (53 % общей массы) с высокой долей тетра- и гексахлорбифенилов (23 и 22 % соответственно).

По данным [1], содержание практически всех изомеров ПХБ в почве возле предприятия по разборке электронных отходов в Китае также снизилось за период с 2005 по 2011 г.; лишь в отношении ПХБ-209 отмечено увеличение, что объясняется различными свойствами соединений, а также спецификой источника ПХБ.

Рассматривая тенденции снижения содержания ПХБ необходимо отметить, что остаточные концентрации соединений ПХБ сохраняются высокими. Например, по состоянию на 2014 г. сумма

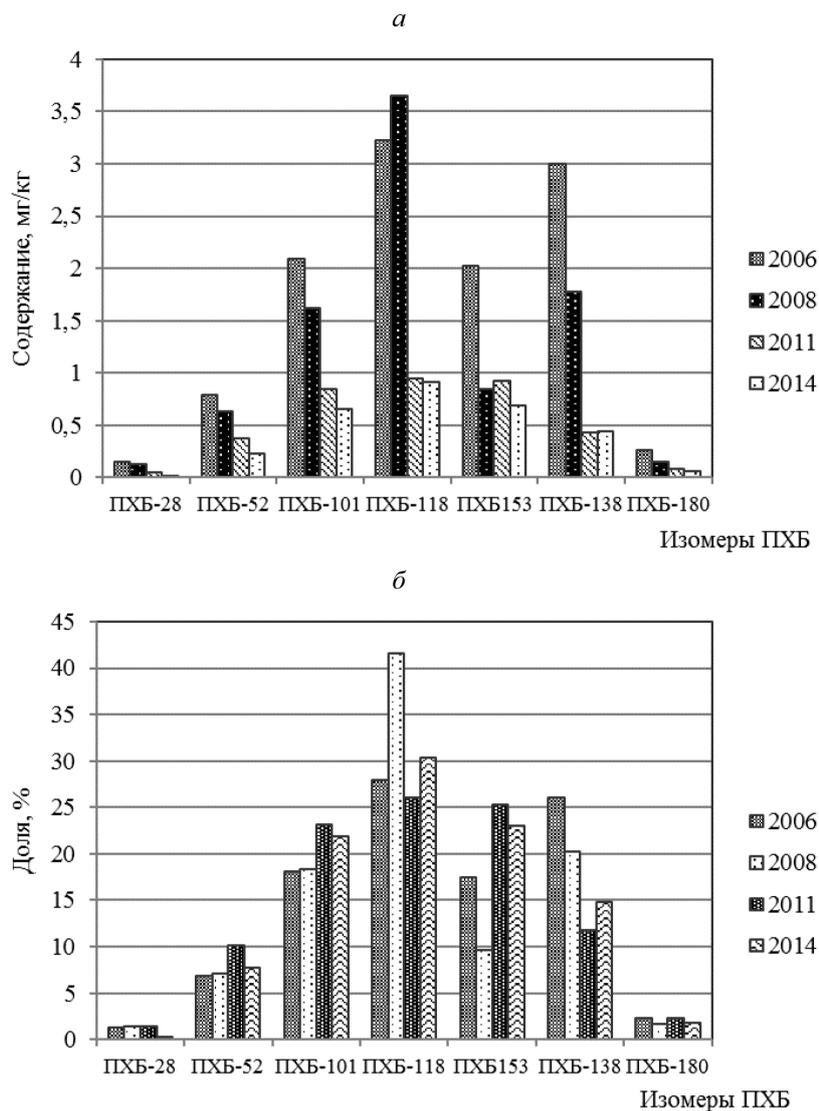


Рис. 4. Изменение содержания (а) изомеров ПХБ и их структурного состава (б) за период с 2006 по 2014 г.

Fig. 4. Changes in PCB congeners content (a) and their profile (b) from 2006 to 2014

7 изомеров ПХБ в почвах промплощадки составила в среднем 3 мг/кг, а общее содержание ПХБ оценивается в 15 мг/кг. Это в десятки и сотни раз выше установленных нормативов. Более того, пока не рассматривается и не определяется содержание в почве других соединений и прежде всего диоксиноподобных, которые даже при очень низких концентрациях представляют опасность для здоровья человека и экосистем. О возможности же образования их в процессе дехлорирования ПХБ свидетельствуют результаты ряда исследований [25].

Как было показано выше, за пределами промплощадки особый интерес представляют участки, расположенные по потоку поверхностного стока. Одна из площадок мониторинга заложена на таком участке (г. 17). Установлено, что в 2011 г. произошло существенное увеличение содержания всех изомеров ПХБ, что может быть связано с произошедшим интенсивным выносом загрязняющих веществ с дождевыми водами. Подтверждением источника воздействия являются данные изомерного состава: как и на промплощадке преобладают высокохлорированные соединения, причем принципиально соотношение изомеров не меняется (рис. 5).

О перераспределении ПХБ с поверхностным стоком с загрязненной территории свидетельствуют результаты опробования отложений в ложбине стока, по которой проложен ливневой коллектор. Содержание суммы 7 изомеров ПХБ в почве ложбины стока, по данным опробования

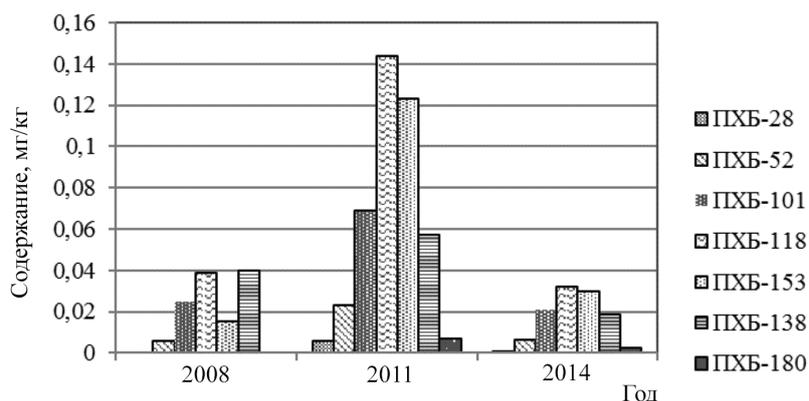


Рис. 5. Изменение содержания 7 изомеров ПХБ в почве ложбины стока на участке, непосредственно прилегающем к промплощадке

Fig. 5. Changes of PCB congeners content in soil of runoff area near the industrial site

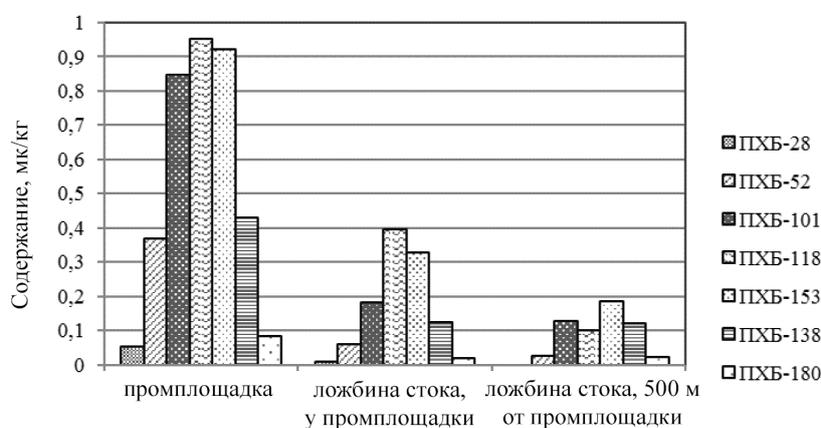


Рис. 6. Сравнение содержания изомеров ПХБ в почвах промплощадки и прилегающей территории (по данным опробования 2011 г.)

Fig. 6. Comparison of PCB congeners content in soils of industrial site and adjacent area (by the results of 2011)

2011 г., варьировало от 0,56 до 0,71 мг/кг при среднем значении 0,62 мг/кг. Идентичность структурного состава изомеров ПХБ в почвах промплощадки и за ее пределами по потоку поверхностного стока показана на рис. 6.

В пробе отложений, отобранных с глубины 30–40 см, сумма 7 изомеров достигает еще более высокого уровня – 2,0 мг/кг, что свидетельствует о продолжительном характере загрязнения и о надежности использования иловатых отложений ложбины стока для индикации выноса загрязняющих веществ с промплощадки.

Заключение. Накопленные к настоящему времени данные позволили выявить закономерное снижение содержания ПХБ в почвах промплощадки, обусловленное естественной деградацией органических соединений. Установлено, что на промплощадке лакокрасочного производства в среднем за период с 2004 по 2014 г. концентрация суммы 7 изомеров ПХБ снижалась с интенсивностью ~2 мг/кг или 9 %, что в целом согласуется с опубликованными данными. Нисходящий тренд в содержании ПХБ в почвах прилегающих территорий не прослеживается.

Показано, что несмотря на почти 20-летний период после окончания применения совола, территория промплощадки остается загрязненной: остаточные концентрации соединений ПХБ в почве в десятки и сотни раз превышают установленные нормативы. Выявленные высокие содержания ПХБ в отложениях ложбины стока за пределами промплощадки свидетельствуют о рассеянии опасных поллютантов с загрязненной промплощадки и формировании вторичных аномалий. Учитывая близость реки Лидея, следует ожидать аккумуляции ПХБ в донных отложениях и биотических компонентах.

Как и для других территорий, загрязненных ПХБ, полного самоочищения почв вряд ли можно ожидать. Сложность проблемы заключается в том, что при дехлорировании ПХБ возможно образование высокоопасных диоксиноподобных соединений, которые могут сохраняться в почве сотни лет.

Локальный мониторинг почв на территории и в зоне воздействия предприятия, достаточно информативный для определения общих тенденций контролируемых соединений, представляется недостаточным для оценки опасности загрязнения в связи с ограниченным перечнем контролируемых изомеров (7 изомеров). Целесообразно развитие исследований содержания и поведения диоксиноподобных соединений в почвенном покрове и биотических компонентах.

Список использованных источников

1. Temporal trends of PCBs, PCDD/Fs and PBDEs in soils from an E-waste dismantling area in East China / P. Wang [et al.] // *Environmental science. Processes & impacts*. – 2013. – Iss. 10, – P. 1897-1903. DOI: 10.1039/c3em00297g
2. Spatio-temporal trends of PCBs in the Swedish freshwater Environment 1981–2012 / E. Nyberg [et al.] // *AMBIO*. – 2014. – N 43. – P. 45–57. DOI: 10.1007/s13280-014-0561-4
3. Temporal and spatial trends of PCBs, DDTs, HCHs, and HCB in Swedish marine biota 1969–2012/ E. Nyberg [et al.] // *AMBIO*. – 2015. – N 44 (Suppl.3). – P. S484–S497. DOI: 10.1007/s13280-015-0673-5
4. Towards a Global Historical Emission Inventory for Selected PCB Congeners – a Mass Balance. Approach 1. Global Production and Consumption / K. Breivik [et al.] // *The Science of the Total Environment*. – 2002. – Vol. 290. – P. 181–198. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.02.026
5. Li, L. Tracking chemicals in products around the world: introduction of a dynamic substance flow analysis model and application to PCBs / L. Li, F. Wania // *Environment International*. – 2016. – N 94. – P. 674–686. DOI: 10.1016/j.envint.2016.07.005
6. Nguyen, T. T. Contamination Profiles of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in the Atmosphere and Soil of South Korea / T. T. Nguyen, H. Y. Lee, S. Choi // *Persistent Organic Chemicals in the Environment: Status and Trends in the Pacific Basin Countries I Contamination Status*. – 2016. – Chapt. 9. – P. 193–218. DOI: 10.1021/bk-2016-1243.ch009
7. Duc, T. V. Residue and Temporal Trend of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Surface Soils from Bacninh, Vietnam / T. V. Duc, S. H. Viet // *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*. – 2013. – Vol. 7, N 7. – P.418-421.
8. Янин, Е. П. Полихлорированные бифенилы в окружающей среде / Е. П. Янин. – М.: Диалог-МГУ, 1997. – 35 с.
9. Хакимов, Ф. И. Загрязнение полихлорированными бифенилами почв города Серпухова / Ф. И. Хакимов, Н. Ф. Деева, А. А. Ильина // *Почвоведение*. – 2003. – № 4. – С. 493–498.
10. Пространственно-временные аспекты распределения полихлорированных бифенилов в почвенном покрове г. Серпухова / С. М. Севостьянов [и др.] // *Изв. Самар. науч. центра РАН*. – 2010. – № 12. – С. 201–204.
11. СОЗ: в опасности наше будущее / Под ред. О. Сперанской, А. Киселева, С. Юфита. – М.: ЭКО-Согласие, 2003. – 144 с.
12. Ishankulov, M. PCB-contaminated Areas in Kazakhstan and Analysis of PC Impact on Human Health Experience // *The Fate of Persistent Organic Pollutants in the Environment* / Eds. E. Mehmetli, B. Koumanova / NATO Security through Science Series – C: Environmental Security. –Netherlands: Springer, 2008. – P. 387–404. DOI: 10.1007/978-1-4020-6642-9_28
13. Danielovič, I. Soil Contamination by PCBs on a Regional Scale: the Case of Strážske, Slovakia / I. Danielovič, J. Hecl, M. Danilovič // *Polish Journal of Environmental Studies*. – 2014. – Vol. 23, N 5. – P. 1547-1554.
14. Willis, J. PCB Inventories: Approaches to Compiling Inventories of PCBs, PCB-Containing Equipment / J. Willis // *PROCEEDINGS of the Subregional Workshop on Identification and Management of Dioxins/Furans and PCBs*. Seoul, Republic of Korea. – July 24–28, 2000.
15. PCB in the Russian Federation: Inventory and Proposals for Priority Remedial Actions / Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo. – М.: Centre for International Projects (CIP), 2000. – 27 p.
16. Кухарчик, Т. И. Полихлорированные бифенилы в Беларуси / Т. И. Кухарчик. – Минск: Минсктипроект. – 2006. – 264 с.
17. Полихлорированные бифенилы в почвах Белоруссии: источники, уровни загрязнения, проблемы изучения / Т. И. Кухарчик [и др.] // *Почвоведение*. – 2007. – № 5. – С. 532–540.
18. Hazardous waste classification. Amendments to the European Waste Classification regulation – what do they mean and what are the consequences? / M. Wahlstrom [et al.] // *Danish Waste Solution*. – 2016. – 121 p. DOI: 10.6027/tn2016-519
19. Об утверждении Гигиенических нормативов 2.1.7.12-1-2004 «Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве»: Постановление Главного гос. сан. врача Респ. Беларусь от 25.02.2004 №28. – Минск: 2004. – 17 с.
20. Global Distribution and Budget of PCBs and HCB in Background Surface Soils: Implications for Sources and Environmental Processes / S. N. Meijer [et al.] // *Environmental Science & Technology*. – 2003. – Vol. 37, N 4. – P. 667–672. DOI: 10.1021/es025809l
21. General technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of containing or contaminated with persistent organic pollutants/ UNEP/CHW.12/5/Add.2/Rev.1.2017 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.basel.int/Implementation/POPsWastes/TechnicalGuidelines/tabid/5052/Default.aspx>. – Date of access: 05.07.2017.

22. Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs). Syracuse Research Corporation. Under Contract N 205-1999-00024 / Agency for Toxic Substances and Disease Registry. – 2000. – 945 p.
23. Historical records, sources, and spatial trends of PCBs along the Rhône River (France) / B. Mourier [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2014. – N 476–477. – P. 568–576. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.01.026
24. Lead, W. A. Polychlorinated Biphenyls in the UK and Norwegian Soils: Spatial and Temporal Trends / W. A. Lead, E. Steinnes, J. R. Bacon // *Science of the Total Environment*. – 1997. – Vol. 193, N. 3. – P. 229–236. DOI: /10.1016/s0048-9697(96)05345-4
25. Mohrherr, C. J. PCB profiles, degradation and origin in sediments of Escambia Bay, F. L. / C. J. Mohrherr, J. Liebens, K. R. Rao // *Environmental Forensics*. – 2012. – N 13(2). – P. 164–174. DOI:10.1080/15275922.2012.676595
26. Козыренко, М. И. Трансформация почв в зоне воздействия промышленного предприятия (на примере лакокрасочного производства) / М. И. Козыренко, Т. И. Кухарчик // *Природопользование: сборник научных трудов*. – Минск: Институт природопользования НАН Беларуси, 2012. – Вып. 21. – С. 115–123.
27. Leachability and Desorption of PCBs from Soil and Their Dependency on pH and Dissolved Organic Matter / S. L. Badae [et al.] // *The Science of the Total Environment*. – 2014. – N 499. – P. 220–227. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.08.031
28. Ivanov, V. Characterization of Polychlorinated Biphenyl Isomers in Sovol and Trichlorodiphenyl Formulations by High-Resolution Gas Chromatography with Electron Capture Detection and High-Resolution Gas Chromatography-Mass Spectrometry Techniques / V. Ivanov, E. Sandell // *Environmental Science Technology*. – 1992. – Vol. 26, N. 10. – P. 2012–2017. DOI: 10.1021/es00034a020

References

1. Wang P., Zhang H., Fu J., Li Y., Wang T., Wang Y., Ren D., Ssebugere P., Zhang Q., Jiang G. Temporal trends of PCBs, PCDD/Fs and PBDEs in soils from an E-waste dismantling area in East China. *Environmental science. Processes & impacts*, 2013, issue 10, pp. 1897-1903. DOI: 10.1039/c3em00297g
2. Nyberg E., Danielsson S., Eriksson U., Faxneld S., Miller A., Bignert A. Spatio-temporal trends of PCBs in the Swedish freshwater Environment 1981–2012. *AMBIO*, 2014, no. 43, pp. 45–57. DOI: 10.1007/s13280-014-0561-4
3. Nyberg E., Faxneld S., Danielsson S., Eriksson U., Miller A., Bignert A. Temporal and spatial trends of PCBs, DDTs, HCHs, and HCB in Swedish marine biota 1969–2012. *AMBIO*, 2015, no. 44 (Suppl.3), pp. S484–S497. DOI: 10.1007/s13280-015-0673-5
4. Breivik K., Sweetman A., Pacyna J.M., Jones K.C. Towards a Global Historical Emission Inventory for Selected PCB Congeners – a Mass Balance. Approach 1. Global Production and Consumption. *The Science of the Total Environment*, 2002, vol. 290, pp. 181–198. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.02.026
5. Li L., Wania F. Tracking chemicals in products around the world: introduction of a dynamic substance flow analysis model and application to PCBs. *Environment International*, 2016, no. 94, pp. 674–686. DOI: 10.1016/j.envint.2016.07.005
6. Nguyen T. T., Lee H. Y., Choi S. Contamination Profiles of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in the Atmosphere and Soil of South Korea. *Persistent Organic Chemicals in the Environment: Status and Trends in the Pacific Basin Countries I Contamination Status*, 2016, chapt. 9, pp. 193–218. DOI: 10.1021/bk-2016-1243.ch009
7. Duc T. V., Viet S. H. Residue and Temporal Trend of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Surface Soils from Bacninh, Vietnam. *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, 2013, vol. 7, no. 7, pp. 418–421.
8. Yanin E. P. *Polychlorinated biphenyls in the environment*. Moscow, Dialogue-MSU Publ., 1997. 35 p. (in Russian).
9. Khakimov F. I., Deeva N. F., Il'ina A. A. The contamination of soils of Serpuhov with polychlorinated biphenyls. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 2003, no. 4, pp. 493–498 (in Russian).
10. Sevost'yanov S. M., Deeva N. F., Il'ina A. A., Demin D. V., Shul'zhenko Ju. V. Spatio-temporal aspects of polychlorinated biphenyls distribution in the soil cover of Serpuhov. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2010, no. 12, pp. 201-204 (in Russian).
11. Speranskaya O., Kiselev A., Yufit S. (eds.) *POPs: our future is in danger*. Moscow, ECO-Soglasie Publ., 2003, 144 p. (in Russian).
12. Ishankulov M. PCB-contaminated Areas in Kazakhstan and Analysis of PC Impact on Human Health Experience. Mehmetli E., Koumanova B. (ed.) *The Fate of Persistent Organic Pollutants in the Environment. NATO Science for Peace and Security Series*. Netherlands, Springer, 2008. pp. 387–404. DOI: 10.1007/978-1-4020-6642-9_28
13. Danielovič I., Hecl J., Danilovič M. Soil Contamination by PCBs on a Regional Scale: the Case of Strážske, Slovakia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2014, vol. 23, no. 5, pp. 1547–1554.
14. Willis J. PCB Inventories: Approaches to Compiling Inventories of PCBs, PCB-Containing Equipment. *PROCEEDINGS of the Subregional Workshop on Identification and Management of Dioxins/Furans and PCBs*. Seoul, Republic of Korea, 2000.
15. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). *PCB in the Russian Federation: Inventory and Proposals for Priority Remedial*. Moscow, Centre for International Projects (CIP), 2000, 27 p.
16. Kukharchik T. I. *Polychlorinated Biphenyls in Belarus*. Minsk, Minsktiproekt Publ., 2006. 264 p. (in Russian).
17. Kukharchyk T. I., Kakareka S. V., Khomich V. S., Kurman P. V., Voropai E. N. Polychlorinated biphenyls in soils of Belarus: Sources, contamination levels, and problems of study. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 2007, vol. 40, no 5, pp. 485–492. DOI: 10.1134/s1064229307050031
18. Wahlstrom M., Laine-Ylijoki J., Wik O., Oberender A., Hjelmar O. *Hazardous waste classification. Amendments to the European Waste Classification regulation – what do they mean and what are the consequences?* Copenhagen, Nordisk ministerråd, 2016, 121 p. DOI: 10.6027/tn2016-519

19. Hygienic standards 2.1.7.12-1-2004. *List of maximum permissible concentrations (MPC) and approximately allowable concentrations (AAC) of chemicals in soil*. Minsk, 2004. 17 p. (in Russian).
20. Meijer S. N., Ockenden W. A., Sweetman A., Breivik K., Grimalt J. O., Jones K. C. Global Distribution and Budget of PCBs and HCB in Background Surface Soils: Implications for Sources and Environmental Processes. *Environmental Science & Technology*, 2003, vol. 37, no. 4, pp. 667–672. DOI: 10.1021/es025809l
21. *General technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants/ UNEP/CHW.12/5/Add.2/Rev.1.2017*. Available at: <http://www.basel.int/Implementation/POPsWastes/TechnicalGuidelines/tabid/5052/Default.aspx> (accessed 05 July 2017).
22. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs)*. Syracuse Research Corporation. Under Contract No. 205-1999-00024. 2000. 945 p.
23. Mourier B., Desmet M., Van Metre P. C., Mahler B. J., Perrodin Y., Roux G., Bedell J.-P., Lefèvre I., Babut M. Historical records, sources, and spatial trends of PCBs along the Rhône River (France). *Science of the Total Environment*, 2014, no. 476–477, pp. 568–576. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.01.026
24. Lead W. A., Steinnes E., Bacon J. R. Polychlorinated Biphenyls in the UK and Norwegian Soils: Spatial and Temporal Trends. *Science of the Total Environment*, 1997, vol. 193, no. 3, pp. 229–236. DOI: /10.1016/s0048-9697(96)05345-4
25. Mohrher C. J., Liebens J., Rao K. R. PCB profiles, degradation and origin in sediments of Escambia Bay, Florida. *Environmental Forensics*, 2012, no. 13(2), pp. 164–174. DOI:10.1080/15275922.2012.676595
26. Kazyrenka M. I., Kukharchik N. I. Transformation of soils in zone of industrial enterprise impact (as exemplified by paint and varnish manufacture). *Prirodopol'zovanie. Sbornik nauchnykh trudov = Nature Management. Collection of scientific papers*. Minsk, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, 2012, iss. 21, pp. 115–123 (in Russian)
27. Badea S. L., Mustafa M., Lundstedt S., Tysklind M. Leachability and Desorption of PCBs from Soil and Their Dependency on pH and Dissolved Organic Matter. *The Science of the Total Environment*, 2014, no. 499, pp. 220–227. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.08.031
28. Ivanov V., Sandell E. Characterization of Polychlorinated Biphenyl Isomers in Sovol and Trichlorodiphenyl Formulations by High-Resolution Gas Chromatography with Electron Capture Detection and High-Resolution Gas Chromatography-Mass Spectrometry Techniques. *Environmental Science & Technology*, 1992, vol. 26, no. 10, pp. 2012–2017. DOI: 10.1021/es00034a020

Информация об авторах

Кухарчик Тамара Иосифовна – д-р географ. наук, гл. науч. сотрудник, Институт природопользования, Национальная академия наук Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь). E-mail: tkukharchyk@gmail.com

Козыренко Маргарита Ивановна – канд. географ. наук, науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, Национальная академия наук Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь). E-mail: margarita_kozyrenko@tut.by

Information about the authors

Tamara I. Kukharchyk – D. Sc. (Geography), Leading researcher, Institute of Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skorina Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tkukharchyk@gmail.com

Margarita I. Kozyrenko – Ph. D. (Geography), Researcher, Institute of Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skorina Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: margarita_kozyrenko@tut.by