

На правах рукописи

ВЕЛЬЯМИДОВА Анна Владиславовна

**ВЛИЯНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ
ПЕНТАХЛОРФЕНОЛЯТА НАТРИЯ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ
КОМПЛЕКСЕ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГЕКСАХЛОРБЕНЗОЛОМ
ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Специальность 03.02.08 – Экология (химические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук**

Москва - 2012

Работа выполнена в лаборатории экоаналитических исследований
Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН
(ИЭПС УрО РАН)

Научный руководитель – кандидат химических наук,
Троянская Антонина Федоровна

Официальные оппоненты – доктор химических наук, профессор
Рыбальченко Игорь Владимирович

доктор химических наук, профессор
Мартынов Борис Иванович

Ведущая организация – Институт проблем экологии и эволюции
им. А.Н. Северцова РАН (г. Москва)

Защита диссертации состоится 17 мая 2012 года в 14 часов на заседании
Диссертационного совета Д 212.155.13 при Московском государственном
областном университете по адресу: 141014, Московская область, г. Мытищи,
ул. В. Волошиной, д. 24, ауд. 627.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного областного университета по адресу: 105005, г. Москва,
ул. Радио, д. 10а; www.mgou.ru

Отзывы на автореферат, заверенные печатью учреждения, просим
направлять в диссертационный совет Д 212.155.13 при Московском
государственном областном университете по адресу: 141014, Московская
область, г. Мытищи, ул. В. Волошиной, д. 24.

Автореферат разослан « ___ » _____ 20__ г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор биологических наук



Снисаренко Т.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований

На современном этапе обеспечения экологической безопасности в мировом масштабе наибольшую угрозу для здоровья населения в настоящее время и в будущем представляют «исторически» созданные загрязненные территории в результате бурного развития в прошлом производства и применения химических веществ. Среди них выделена группа стойких органических загрязнителей (СОЗ), обладающих высокой токсичностью, устойчивостью, способностью к накоплению, биоаккумуляции и переносу на большие расстояния (Стокгольмская конвенция, 2001).

Данная проблема особо актуальна для регионов с развитым лесопромышленным комплексом, где в целях ресурсосбережения (для защиты лесных массивов от вредителей, сокращения потерь свежеспиленной древесины от разрушения плесневыми, древоокрашивающими и дереворазрушающими грибами, увеличения сохранности и долговечности деревянных зданий и других конструкций) еще в первой половине XX века широко применялась обработка различными биоцидами, среди которых наибольшее распространение во всем мире получили пентахлорфенол (ПХФ) и его натриевая соль – пентахлорфенолят натрия (ПХФН) (Pentachlorophenol..., 1999). Выявление загрязненных в прошлом территорий, их инвентаризация и создание реестров источников СОЗ, а также мониторинг и изучение «судьбы» этих соединений в окружающей среде относятся к мерам по снижению влияния стойких органических загрязнителей на природные экосистемы, принимаемым в настоящее время в развитых странах в рамках национальных программ и международных соглашений, в первую очередь Стокгольмской конвенции о СОЗ, ратифицированной Российской Федерацией в августе 2011 года (Stockholm Convention ..., 2011).

В Архангельской области с традиционно развитым лесопромышленным комплексом выявлены участки, загрязненные пентахлорфенолом и полихлорированными дибензо-*n*-диоксинами (ПХДД) и дибензофуранами (ПХДФ) по типу «горячих точек», формирование которых на территориях крупных деревообрабатывающих предприятий обусловлено нарушением технологии обработки сырых экспортных пиломатериалов отечественным препаратом пентахлорфенолята натрия, производившимся и применявшимся с 1959 г. вплоть до 90-х годов (Троянская и др., 1999; 2001; 2005). Использование отходов от производства линдана (смесь нетоксичных изомеров 1,2,3,4,5,6-гексахлорциклогексана) для синтеза ПХФН по технологии щелочного гидролиза гексахлорбензола (ГХБ) (Федоров, 1993) приводило к образованию в препарате в виде примесей различных хлорорганических соединений, среди которых в наибольшем количестве содержался гексахлорбензол (Троянская и др., 2004). Свойства гексахлорбензола, относящегося к стойким органическим загрязнителям, позволяют предполагать его присутствие среди хлорароматических компонентов препарата пентахлорфенолята натрия в современных почвах на промплощадках лесозаводов, расположенных в бассейнах крупных северных рек на территории региона.

Цель исследования – выявление современного уровня загрязнения и закономерностей распределения гексахлорбензола в объектах окружающей среды под влиянием долговременного применения отечественного препарата пентахлорфенолята натрия для антисептирования пиломатериалов.

Учитывая разнообразие и распространенность источников гексахлорбензола, выявление уровня загрязнения этим экотоксикантом почв в результате применения пентахлорфенолята натрия и водных экосистем под их влиянием целесообразно провести на примере относительно малонаселенного Коношского района Архангельской области, расположенного в бассейне реки Онега, где кроме прямого специфического источника – промплощадки Коношского лесозавода, вклад других возможных источников гексахлорбензола представляется незначительным.

Задачи исследования:

1. Оптимизировать схему целевого анализа почв и донных отложений, позволяющую определять индивидуальные компоненты препарата (гексахлорбензол, пентахлорфенол) и экстрагируемый органически связанный хлор из одной пробы, для оценки загрязнения объектов окружающей среды под влиянием долговременного применения отечественного препарата.

2. Оценить уровни содержания гексахлорбензола в составе остаточных хлорорганических компонентов препарата в почвах на промплощадке Коношского лесозавода, изучить закономерности их вертикального и горизонтального распределения.

3. Выявить количественное содержание, изучить особенности пространственного распределения гексахлорбензола в озерных и речных осадках водных экосистем, находящихся под влиянием территорий, загрязненных от применения пентахлорфенолята натрия.

4. Оценить накопление остаточных количеств гексахлорбензола в современных почвах загрязненных территорий лесозаводов, применявших в прошлом препарат в технологическом цикле антисептирования пиломатериалов.

Научная новизна результатов исследований:

1. Модифицирована на стадии пробоподготовки стандартная методика (РД 52.18.649-2003) определения гексахлорбензола в объектах окружающей среды, позволяющая без потери эффективности сократить длительность и снизить трудоемкость данной процедуры, и включена в схему целевого анализа почв и донных отложений на содержание липофильных хлорорганических соединений.

2. Выявлено, что в современных почвах на промплощадке Коношского лесозавода в результате долговременного применения отечественного препарата пентахлорфенолята натрия, содержащего гексахлорбензол в качестве основной примеси (3,0 %), сформировались участки загрязнения по типу «горячих точек» остаточными липофильными компонентами препарата, в составе которых более 90 % приходится на долю гексахлорбензола как в поверхностном слое почв, так и на глубине.

3. Показано, что выявленная закономерность распределения гексахлорбензола и пентахлорфенола в современных почвах сильно загрязненных участков сохраняется в донных осадках водных экосистем,

находящихся под их влиянием, и может быть использована для идентификации источника загрязнения, связанного с применением пентахлорфенолята натрия в прошлом.

4. Экспериментально обосновано, что современные почвы на загрязненной территории лесозавода от применения отечественного препарата пентахлорфенолята натрия являются «вторичным» источником поступления в окружающую среду устойчивого к деградации гексахлорбензола, который будет действовать еще длительное время.

5. В результате исследований донных осадков малых озер, не подверженных прямому антропогенному воздействию, установлен значимый вклад «вторичных» источников в загрязнение гексахлорбензолом природных экосистем на территории Архангельской области.

Практическая значимость результатов исследований:

1. Предложена схема целевого анализа почв и донных отложений, позволяющая определять из одной пробы приоритетные липофильные хлорорганические соединения, отличающиеся по физико-химическим свойствам.

2. Экспериментально подтверждена возможность применения обобщенного показателя – экстрагируемый органически связанный хлор, в качестве «маркера» для выявления локальных участков загрязнения гексахлорбензолом на территориях, подверженных в прошлом долговременному воздействию пентахлорфенолята натрия отечественного производства.

3. На основании результатов выполненных исследований рассчитано остаточное количество гексахлорбензола в современных почвах на территории Коношского лесозавода. Полученные данные являются основой для создания регионального и национального реестра «горячих точек» с целью принятия в дальнейшем мер по реабилитации этих территорий и снижению негативного воздействия стойких органических загрязнителей на окружающую среду.

4. Полученные данные по содержанию гексахлорбензола, пентахлорфенола и экстрагируемого органически связанного хлора в загрязненных почвах и донных осадках водоемов в расчете на сухое и органическое вещество могут быть использованы в качестве базовых для организации локального эколого-аналитического мониторинга приоритетных липофильных хлорорганических соединений.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Модификация методики измерения массовой доли гексахлорбензола и оптимизация схемы целевого анализа почв и донных отложений на содержание липофильных хлорорганических соединений для оценки влияния долговременного применения отечественного пентахлорфенолята натрия на загрязнение объектов окружающей среды.

2. Результаты исследований по изучению количественного содержания и закономерностей горизонтального и вертикального распределения гексахлорбензола в современных почвах, загрязненных остаточными хлорорганическими компонентами препарата пентахлорфенолята натрия.

3. Результаты исследований по изучению количественного содержания и закономерностей пространственного распределения гексахлорбензола в составе

остаточных хлорорганических компонентов препарата в современных донных осадках в бассейне реки Онега под влиянием Коношского лесозавода.

4. Результаты исследований по изучению количественного содержания и закономерностей распределения гексахлорбензола, пентахлорфенола и экстрагируемого органически связанного хлора в донных осадках водных экосистем, не подверженных прямому влиянию антропогенных источников.

Достоверность и обоснованность результатов исследований, научных положений и выводов обеспечиваются значительным объемом обработанного фактического материала натуральных и лабораторных исследований; подтверждается данными экспериментальных исследований, полученными при использовании современного оборудования и средств измерения, методик количественного химического анализа с применением высокочувствительных инструментальных методов.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертационной работы докладывались на Международных молодежных конференциях «Экология-2007» (Архангельск, 2007) и «Экология-2011» (Архангельск, 2011), Всероссийской конференции с международным участием «Академическая наука и ее роль в развитии производительных сил в северных регионах России» (Архангельск, 2006), Всероссийских конференциях по анализу объектов окружающей среды «Экоаналитика-2006» (Самара, 2006) и «Экоаналитика-2011» (Архангельск, 2011), Международном симпозиуме по стойким органическим загрязнителям «Dioxin-2007» (Токио, 2007).

Работа была выполнена в рамках планов ФНИР Института экологических проблем Севера УрО РАН «Изучение закономерностей и механизмов формирования качества вод и донных отложений территорий Европейского Севера в условиях антропогенного воздействия стойких органических соединений и особенностей протекания окислительно-восстановительных процессов цикла серы» (2001-2005 гг.) и «Поведение устойчивых хлорорганических соединений и соединений серы в донных осадках бассейна арктических рек Европейского Севера России» (2006-2008 гг.), а также при финансовой поддержке Комитета по экологии Администрации Архангельской области (2004 г.).

По материалам диссертационной работы опубликовано в соавторстве 9 печатных работ, в том числе 3 статьи в российских рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ (Известия высших учебных заведений. Лесной журнал; Вестник Московского государственного областного университета).

Личный вклад. Автором, с учетом рекомендаций руководителя, сформулированы цель и задачи исследования; в период экспедиционных работ выполнен отбор проб почв и донных осадков, проведена их подготовка к анализу; модифицирована методика определения гексахлорбензола в твердых природных матрицах на стадии пробоподготовки; получены и интерпретированы результаты определения количественного содержания ГХБ в отобранных почвах и донных отложениях; проведена статистическая обработка экспериментальных данных.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы (231 источник, в т.ч. 162 работы иностранных авторов) и приложений. Работа изложена на 163 страницах машинописного текста, содержит 32 таблицы и 34 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследований.

Глава 1. Литературный обзор

В главе изложены сведения о физико-химических свойствах гексахлорбензола, особенностях поведения в компонентах природных экосистем, рассмотрены основные источники его образования и поступления в окружающую среду, а также приведены уровни содержания этого стойкого органического загрязнителя в почвах и донных отложениях. Освещен методический аспект количественного определения гексахлорбензола и других липофильных хлорароматических компонентов препарата пентахлорфенолята натрия в почвах и донных отложениях.

Глава 2. Материалы и методы исследований

Объектами исследования являются почвы на промплощадке Коношского лесозавода, где в период с 1959 по 1996 год для антисептирования экспортных пиломатериалов было использовано 150,4 т препарата ПХФН, а также донные осадки, отобранные в бассейнах водных экосистем, расположенных в относительно малонаселенном Коношском районе на юге Архангельской области и Кенозерском национальном парке (КНП) в Каргопольском районе на юго-западе региона, в разной степени подверженных антропогенному воздействию. Выполнено картографирование территории предприятия с учетом расположения основных технологических узлов производственного цикла антисептирования, рельефа местности и современного состояния промплощадки. Представлены карты-схемы отбора проб почвы и расположения станций отбора проб поверхностного слоя озерных и речных осадков. Пробы были отобраны в ходе экспедиционных работ в 2002 и 2009 годах. Дано описание отобранных проб почв и донных отложений с их краткой характеристикой; приведены методы отбора проб.

В работе использованы методики количественного химического анализа с применением современных высокочувствительных инструментальных методов: газовой хроматографии с электронозахватным детектированием (ГХ-ЭЗД) для определения гексахлорбензола («Кристалл 5000.1», Россия), ГХ-ЭЗД («Цвет-800», Россия) и нормально-фазной высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием («Милихром-4», Россия) для определения пентахлорфенола, микрокулонометрического титрования для определения экстрагируемого органически связанного хлора (ЭОХ) и его устойчивой фракции (ЭОХ_{уст}) (анализатор адсорбируемых галогенорганических соединений «IDC», Германия), элементного анализа (С,Н,Н-анализатор «Hewlett-Packard», США) для определения органического углерода (С_{орг}); а также мокрого

просеивания и непрерывного водно-механического анализа для определения гранулометрического состава почв и донных осадков.

Определение содержания ПХФ, ЭОХ и ЭОХ_{уст}, С_{орг}, гранулометрического состава почв и донных осадков проводилось в Институте экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск) сотрудниками лаборатории экоаналитических исследований (рук. к.х.н. Троянская А.Ф.); анализ почв и донных осадков на содержание ПХДД и ПХДФ методом хромато-масс-спектрометрии проводился в Институте проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (г. Москва) в аккредитованной лаборатории аналитической экотоксикологии (рук. [к.х.н. Клюев Н.А.], д.х.н. Бродский Е.С.).

Полученные данные обработаны статистически в программе Microsoft Excel, взаимосвязь между изучаемыми показателями исследовали при помощи корреляционного анализа с использованием метода наименьших квадратов (Дмитриев, 1995).

Глава 3. Оптимизация схемы целевого анализа твердых природных и техногенных матриц для определения гексахлорбензола, пентахлорфенола и экстрагируемого органически связанного хлора из одной пробы

Выполнена модификация на этапе пробоподготовки существующей стандартной методики количественного определения массовой доли галоидорганических пестицидов (в т.ч. гексахлорбензола) методом ГХ-ЭЗД по РД 52.18.649-2003. Применение для извлечения целевых соединений ускоренной проточной экстракции горячей смесью органических растворителей при температуре ниже точки кипения позволило исключить жидкостную экстракцию многократным перемешиванием с растворителями без нагревания, предполагающую длительность и многоступенчатость процедуры, значительный расход экстрагентов, многочисленные переносы экстракта, приводящие к потерям на каждой ступени и трудно контролируемым погрешностям определения. Использование адсорбционной очистки экстракта от мешающих примесей на многослойных колонках позволило упростить и ускорить процедуру очистки, не уступая при этом по эффективности обработке концентрированной серной кислотой, предусмотренной в РД. Кроме того, в рамках модификации методики введен внутренний стандарт-имитатор (декахлорбифенил, ПХБ 209) с целью контроля потерь целевого соединения из анализируемой пробы в ходе пробоподготовки, учета особенностей структуры и состава сложных природных матриц (почв и донных осадков), а также сведения к минимуму погрешностей полученных результатов.

Модифицированная методика была включена в схему целевого анализа почв и донных отложений на содержание липофильных хлорорганических соединений для определения гексахлорбензола, пентахлорфенола и экстрагируемого органически связанного хлора из одной пробы.

В пробу анализируемой матрицы, высушенной до воздушно-сухого состояния, предварительно вносили ПХБ 209 и извлекали хлорорганические соединения горячей смесью гексан/ацетон методом проточной экстракции. После отделения аликвоты полученного экстракта для определения ЭОХ и его устойчивой фракции другую аликвоту обрабатывали раствором гидроксида натрия для разделения на фракции нейтральных и кислых соединений. Далее

органическую фазу, содержащую соединения нейтрального характера (в т.ч. гексахлорбензол), очищали от сопутствующих органических примесей с использованием многослойных колонок или комбинации их с монослойными колонками. После адсорбционной очистки для устранения мешающего влияния серы и её соединений в экстракт добавляли активированную металлическую медь; при необходимости экстракт концентрировали.

Полученный экстракт анализировали методом ГХ-ЭЗД при программировании температуры термостата капиллярной колонки. Идентификацию ГХБ и ПХБ 209 проводили по времени удерживания, количественное определение – по высотам соответствующих пиков методом абсолютной калибровки. Экспериментальные данные регистрировали и обрабатывали с помощью персонального компьютера и программного пакета «Хроматэк-Аналитик».

На рис. 1 представлены хроматограммы экстрактов, полученные по модифицированной методике (а) и стандартной методике РД 52.18.649-2003 (б).

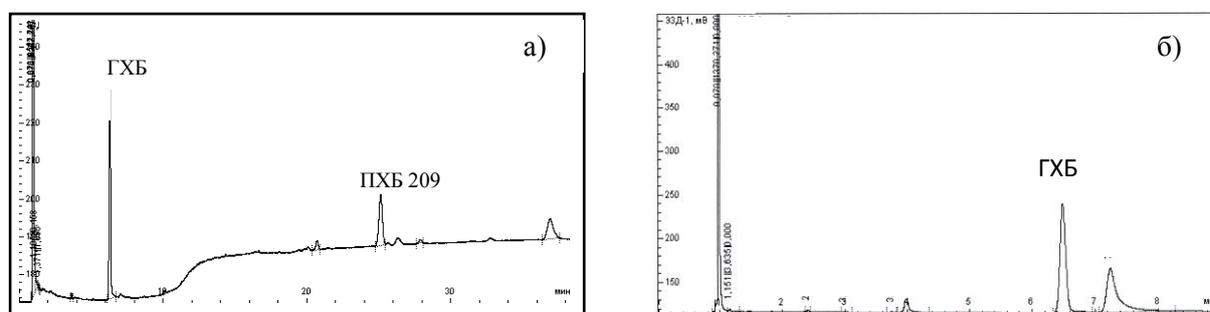


Рис. 1. Хроматограммы экстрактов промышленной почвы, полученные по разным методикам

Апробацию методики определения гексахлорбензола, включенной в схему целевого анализа, проводили на реальном объекте – образце промышленной почвы, отобранной на территории одного из деревообрабатывающих предприятий Архангельской области. Приведены её метрологические характеристики.

Для оценки эффективности и достоверности модифицированной методики результаты определения гексахлорбензола сравнивали с данными, полученными при использовании стандартной методики РД 52.18.649-2003 (табл.1).

Как видно из данных, представленных в таблице, получены сопоставимые результаты определения гексахлорбензола в пробах промышленной почвы с использованием разных методик.

При одинаковом количестве добавок, введенных в почву, достигнуты близкие между собой величины полноты извлечения целевых соединений из исследуемой почвы, которые представляются в обоих случаях вполне приемлемыми согласно (Методические указания..., 1983). При этом на основании сравнения со стандартной методикой метрологические характеристики модифицированной методики можно признать удовлетворительными. Предел обнаружения методики составлял 0,1 нг/г воздушно-сухого вещества.

Табл. 1. Результаты определения ГХБ и внутреннего стандарта-имитатора (ПХБ 209) в почве ($n = 10$, $P = 0,95^*$)

Методика	ГХБ					ПХБ 209				
	Средн. зн-е измер-х конц-ций, мкг/г	Введено, мкг/г	Найдено		ОСО, %	Средн. зн-е измер-х конц-й, мкг/г	Введено, мкг/г	Найдено		ОСО, %
			мкг/г	%				мкг/г	%	
РД 52.18.649-2003	0,492±0,029	-	-	-	8,1	-	-	-	-	-
	0,492±0,029	1,000	0,932±0,039	62,5	4,0	-	-	-	-	-
Модифиц. методика	0,432±0,016	-	-	-	5,1	н.о.	1,000	0,635±0,009	63,5	1,5

* n – объем выборки; P – доверительная вероятность.

Глава 4. Количественное содержание и распределение гексахлорбензола в составе остаточных липофильных компонентов пентахлорфенолята натрия в современных почвах на промплощадке Коношского лесозавода

4.1. Количественное содержание и распределение остаточного гексахлорбензола в современных почвах на промплощадке Коношского лесозавода

В данной главе обсуждаются результаты определения гексахлорбензола в пробах промышленных почв, отобранных на промплощадке Коношского лесозавода в поверхностном слое (0-20 см) и по глубине (до 100 см).

По механическому составу промышленные почвы на территории предприятия характеризовались как песчаные и супесчаные с преобладанием фракций физического песка с размером частиц $> 0,01$ мм (от 74,98 до 96,56 %). В составе физической глины преобладала тонкодисперсная фракция с размером частиц $< 0,001$ мм, составляющая от 2,01 до 10,81 %. Содержание $C_{орг}$ в почве варьировало преимущественно от 2,1 до 5,3 % с наибольшими значениями в верхних слоях на участке антисептирования (от 7,8 до 11,8 %).

Остаточные количества гексахлорбензола обнаружены во всех отобранных пробах почвы в концентрациях от 0,6 до 42300 мкг/г воздушно-сухого вещества (в.с.в) и на 1-8 порядков превышали существующие отечественные и зарубежные нормативы, что позволяет говорить о чрезвычайно высоком уровне загрязнения гексахлорбензолом почв на территории предприятия.

Максимальное содержание экотоксиканта (от 17000 до 42300 мкг/г) выявлено в поверхностном слое почвы на участке антисептирования (рис. 2а), подверженном постоянному и длительному воздействию препарата пентахлорфенолята натрия вследствие нарушения технологии обработки сырых экспортных пиломатериалов и несовершенства системы обеспечения экологической безопасности. По мере удаления от этого участка наблюдалось явно выраженное снижение концентраций гексахлорбензола – до 0,6 мкг/г за пределами промплощадки, на берегу оз. Нижнее на расстоянии 300 м от ванны антисептирования, что связано с различной нагрузкой по антисептику и

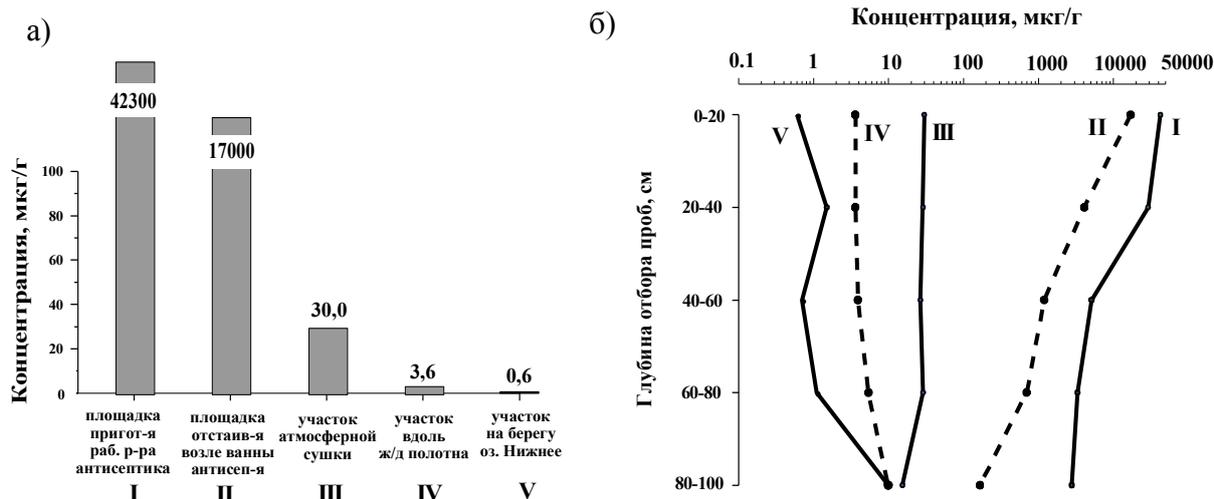


Рис. 2. Распределение гексахлорбензола в поверхностном слое почвы (а) и по глубине (б) на различных участках промплощадки Коношского лесозавода

обусловлено расположением технологических узлов производственного процесса. Следует отметить, что почвы на участке антисептирования оказались наиболее загрязненными не только в поверхностном слое, но и на глубине.

Что касается вертикального распределения гексахлорбензола в почве, то на обеих площадках (I и II) участка антисептирования прослеживалась довольно четко выраженная тенденция к снижению в десятки раз его концентраций по глубине (рис. 2б). На участках, расположенных на удалении от ванны антисептирования, вертикальное распределение загрязнителя в почвах имело более равномерный характер.

Проникновению малорастворимого гексахлорбензола вглубь почвы способствовало присутствие других загрязнителей, выступающих в роли «курьеров», среди которых наиболее значимы хлорированные фенолы, а также компоненты топлива/масел в связи с интенсивным применением автотранспорта на промплощадках. Миграция экотоксиканта в толще почвы вплоть до глубины залегания грунтовых вод возможна и за счет перемещения в сорбированном виде на мобильных тонкодисперсных частицах почвы с размером $< 0,001$ мм под влиянием атмосферных осадков (Persson et al., 2006, 2008). Положительная корреляционная связь, выявленная между содержанием ГХБ и $C_{орг}$ (линейный коэффициент корреляции $r = 0,88$ при объеме выборки $n = 25$) в почвах на промплощадке лесозавода в целом, отражает закономерность, характерную для нейтральных высоколипофильных соединений, для которых основным фактором, влияющим на поведение в окружающей среде, является органическое вещество.

В расчете на органический углерод почвы количественное содержание гексахлорбензола также сильно варьировало – от 21 до 357000 мкг/г $C_{орг}$. Установлен практически идентичный характер распределения этого загрязнителя, нормализованного на сухое и органическое вещество почвы, как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях.

4.2. Взаимное распределение гексахлорбензола и пентахлорфенола в современных почвах на промплощадке Коношского лесозавода

Поскольку на промплощадке лесозавода гексахлорбензол был привнесен в почву в составе примесей отечественного препарата пентахлорфенолята натрия (Троянская и др., 2004), представляло интерес рассмотреть взаимное распределение остаточных гексахлорбензола и пентахлорфенола в современных почвах по прошествии 15 лет после прекращения антисептирования.

Остаточные количества пентахлорфенола повсеместно обнаружены в почвах на довольно высоком уровне содержания – от 0,9 до 1160 мкг/г в.с.в. Пентахлорфенол относится к слабым кислотам, и рН является самым значимым фактором, влияющим на его поведение в окружающей среде. Величина рН в пробах почв на промплощадке варьировала от 7,50 до 8,85, что предполагало присутствие этого ионогенного соединения преимущественно в виде пентахлорфенолята, хорошо растворимого в воде и способного в меньшей степени по сравнению с неионизированной формой связываться с почвенными частицами, что способствовало перемещению его в более глубокие слои почвы и постепенному вымыванию из неё. В то же время, учитывая предположение, что для поверхности самих частиц почвы (Hazard assessment..., 1990) характерна величина рН, значительно меньшая (на 2-4 единицы) по сравнению с водным почвенным раствором, можно предполагать присутствие пентахлорфенола в почвах не только в ионизированной, но и в неионизированной форме, что и определяло его длительное удерживание.

Выявлено идентичное горизонтальное распределение компонентов препарата в поверхностном слое почв со значительно более высокими концентрациями этих соединений на участке антисептирования (площадки I и II) по сравнению с участками атмосферной сушки, вдоль ж/д полотна и за пределами промплощадки (рис. 3).

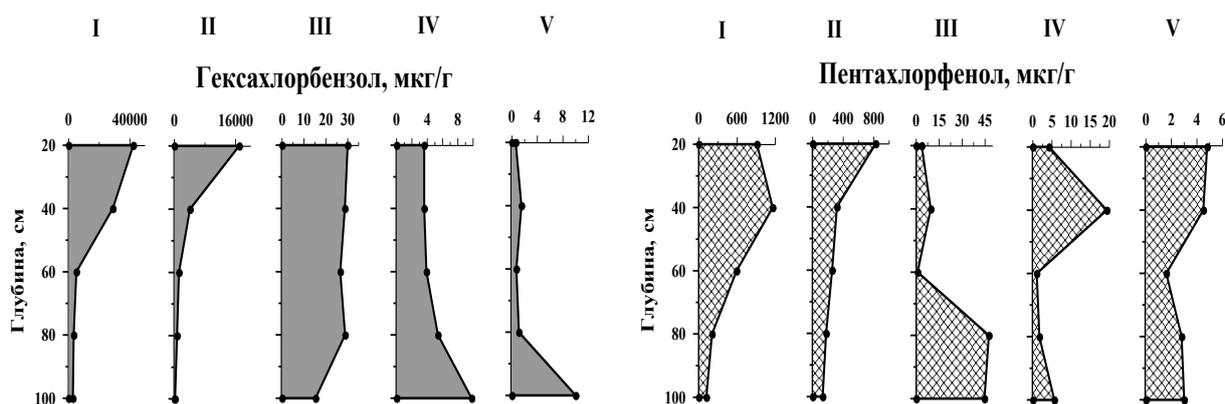


Рис. 3. Распределение ГХБ и ПХФ в почвах на промплощадке Коношского лесозавода

По сравнению с исходным препаратом, в котором соотношение гексахлорбензола и пентахлорфенола составляло 1:28, в современных почвах на промплощадке лесозавода с течением времени произошло перераспределение этих хлорароматических компонентов в сторону доминирования концентраций гексахлорбензола. При этом в сильно загрязненных почвах на участке с наибольшей нагрузкой, как в поверхностном слое, так и по глубине, доля

экотоксиканта в их суммарном содержании составляла 79,3-97,9 %, а его концентрации в 4-47 раз превышали содержание пентахлорфенола.

На удалении от участка антисептирования, в поверхностном слое почвы менее загрязненных участков, наблюдалось постепенное снижение доли гексахлорбензола при практически неизменном содержании пентахлорфенола, что обусловлено отличием физико-химических свойств этих соединений. На глубине какой-либо закономерности во взаимном распределении компонентов препарата ПХФН не наблюдалось, соотношение гексахлорбензола и пентахлорфенола в различных почвенных слоях варьировало в диапазонах от (1,6-8,0):1 до 1:(1,2-8,1).

4.3. Общее содержание липофильных компонентов отечественного препарата пентахлорфенолята натрия в современных почвах на промплощадке Коношского лесозавода

Хлорароматические компоненты препарата – гексахлорбензол и пентахлорфенол, являются липофильными соединениями с величиной коэффициента распределения в системе октанол/вода, выраженного через логарифм ($\log_{10}K_{ow}$), соответственно 6,18 и 5,24. Для оценки общего содержания компонентов препарата, обладающих разной степенью липофильности ($\log_{10}K_{ow} > 3$) и извлекаемых смесью органических растворителей, использовали обобщенный показатель – экстрагируемый органически связанный хлор (ЭОХ). Устойчивую фракцию (ЭОХ_{уст}), включающую соединения с наибольшим биоаккумуляционным потенциалом ($\log_{10}K_{ow} > 5$), выделяли обработкой экстракта концентрированной серной кислотой (Martinsen, 1988). Экспериментально, на модельных смесях гексахлорбензола и пентахлорфенола в гексане, подтверждено соответствие их суммарного содержания концентрациям ЭОХ и ЭОХ_{уст}.

Величина экстрагируемого органически связанного хлора в почвах на промплощадке Коношского лесозавода варьировала от 3,0 до 32200 мкг Сl/г в.с.в. Максимальное его количество (от 14500 до 32200 мкг Сl/г), по аналогии с

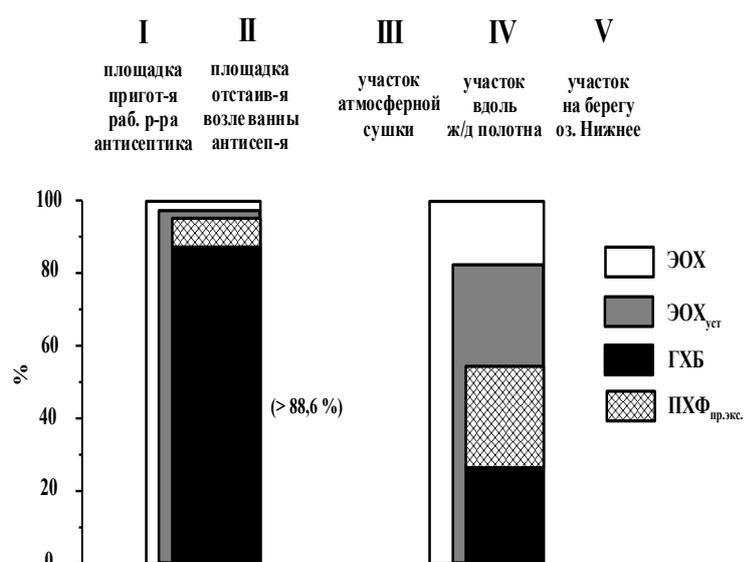


Рис. 4. Типичное распределение ГХБ и ПХФ в ЭОХ и ЭОХ_{уст} в почвах на промплощадке Коношского лесозавода

гексахлорбензолом и пентахлорфенолом, обнаружено в поверхностном слое на участке с высокой нагрузкой по антисептику с идентичным горизонтальным распределением по территории промплощадки.

На участке антисептирования во всех почвенных слоях доля устойчивой фракции в содержании экстрагируемого органически связанного хлора составляла более 91,2 % (рис. 4). При этом в сильно загрязненных

почвах этого участка количество ЭОХ и его устойчивой фракции практически повсеместно определялось суммарным содержанием гексахлорбензола и пентахлорфенола, составляющим не менее 90,0 %, при доминирующем вкладе гексахлорбензола.

На удалении от ванны антисептирования, в почвах менее загрязненных участков, доля устойчивой фракции снижалась до 50,0 % за счет привнесения других, менее липофильных, хлорорганических соединений от источников, связанных преимущественно с процессами сжигания/горения различного вида органического сырья (выбросы двигателей внутреннего сгорания автотранспорта, теплоэнергетических установок и др.).

При этом в почвах, как в поверхностном слое, так и по глубинам, в составе ЭОХ и ЭОХ_{уст} на долю суммарного содержания гексахлорбензола и пентахлорфенола в большинстве проб приходилось не более 56,9 и 64,9 %, соответственно.

4.4. Оценка остаточных количеств гексахлорбензола в современных почвах территорий, загрязненных от применения отечественного препарата пентахлорфенолята натрия

Ориентировочный расчет остаточных количеств гексахлорбензола в почвах на территории Коношского лесозавода проведен с учетом площади конкретных участков, концентрации экотоксиканта и плотности почвы, измеренных в каждом из слоев по глубине. Потери препарата в технологическом процессе при использовании открытого способа антисептирования пиломатериалов (25 %) приняты на основании литературных данных (Valo et al., 1984; Галиахметов, 2005). При поступлении 4,5 тонн гексахлорбензола в составе 150,4 тонн отечественного препарата ПХФН более чем за 30 лет его применения на Коношском лесозаводе остаточные количества загрязнителя в современных почвах промплощадки составляют около 0,7 тонн с преимущественной локализацией (70 %) в «горячих точках». Общее количество гексахлорбензола в почвах загрязненных участков от применения препарата пентахлорфенолята натрия на деревообрабатывающих предприятиях Архангельской области ориентировочно составляет 27 тонн в расчете на сухое вещество.

Глава 5. Количественное содержание и пространственное распределение гексахлорбензола в донных осадках водных экосистем под влиянием загрязненных территорий

5.1. Гексахлорбензол в донных осадках по пути транспорта с водными массами от прямого источника загрязнения

Поступление остаточных липофильных хлорорганических соединений с загрязненной территории лесозавода в водную среду возможно в результате почвенной эрозии путем перемещения в сорбированном виде на органическом веществе с частицами почвы и пыли ветровыми потоками, а также с поверхностными и грунтовыми водами, атмосферными осадками.

Для оценки влияния загрязненной территории Коношского лесозавода на водные экосистемы исследовали донные осадки, отобранные в озерах Нижнее/Верхнее и по пути транспорта водных масс от прямого источника через реку Долгая и вниз по течению до устья р. Волошка (рис. 5). В песчано-алевритовых озерных и речных осадках с содержанием тонкодисперсной

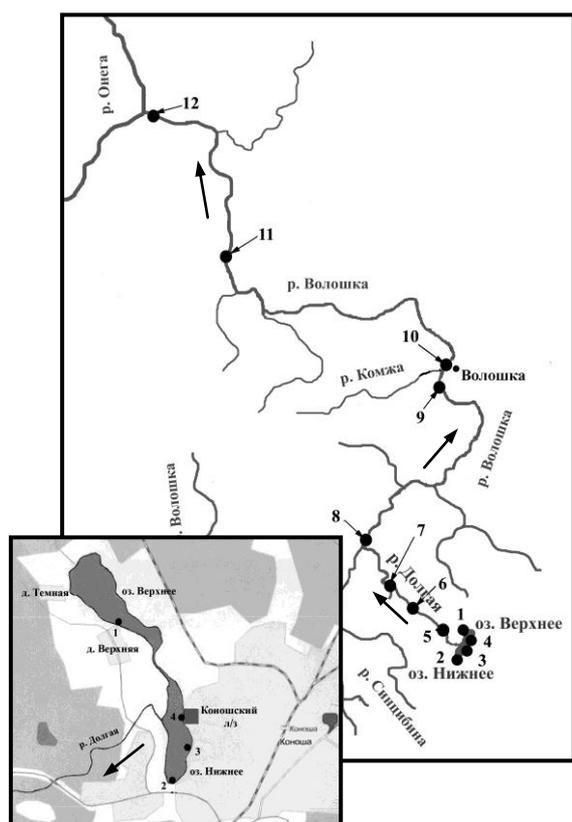


Рис. 5. Расположение станций отбора проб донных осадков водных экосистем под влиянием прямого источника

пелитовой фракции (с размером частиц $< 0,01$ мм) от 1,46 до 17,46 % количество $C_{\text{орг}}$ варьировало преимущественно от 0,29 до 2,33 %.

Гексахлорбензол был обнаружен во всех отобранных пробах донных осадков в концентрациях от 2,8 до 293 нг/г в.с.в. (от 966 до 22300 нг/г $C_{\text{орг}}$). При сравнении найденных количеств с существующими национальными зарубежными и отечественными нормативами, а также с данными литературных источников исследованные осадки могут быть отнесены к сильно загрязненным.

Более высокое содержание экотоксиканта (от 84 до 293 нг/г) найдено в озерных осадках. Наименьшая концентрация гексахлорбензола найдена в пробе, отобранной возле территории лесозавода, с максимальным уровнем $C_{\text{орг}}$ (17,87 %) за счет большого количества разлагающихся древесных остатков, привнесенных с площадки лесозавода, характеризующихся значительным содержанием органического вещества. Такое

распределение гексахлорбензола может быть обусловлено низкой способностью древесных волокон к сорбции загрязнителей гидрофобной природы.

Концентрации гексахлорбензола в речных осадках снижались по мере удаления от источника. Максимальный уровень его содержания (120 нг/г) был найден в истоке р. Долгая и далее наблюдалось относительно равномерное распределение этого соединения вниз по течению Волошки при положительной корреляционной связи между содержанием ГХБ и $C_{\text{орг}}$ ($r = 0,92$, $n = 8$). Уровни экотоксиканта варьировали преимущественно от 6,7 до 25,7 нг/г с минимальным значением 2,8 нг/г в устье р. Волошка.

Аналогичные гексахлорбензолу тенденции наблюдались и в пространственном распределении пентахлорфенола, найденного во всех отобранных осадках в концентрациях от 3 до 213 нг/г в.с.в. Сохранялось доминирующее положение гексахлорбензола, количество которого в большинстве проб в 1,5-9 раз превышало концентрации пентахлорфенола, а доля в суммарном содержании этих двух компонентов составляла от 57,3 до 100,0 %. Выявленная закономерность, а также положительная корреляционная связь между содержанием ГХБ и ПХФ ($r = 0,87$, $n = 12$) предполагали общий источник поступления этих соединений в водную среду – промплощадку лесозавода,

загрязненную остаточными количествами отечественного препарата пентахлорфенолята натрия.

Установлены идентичные тенденции и в распределении экстрагируемого органически связанного хлора, содержание которого в осадках варьировало от 100 до 1400 нг Сl/г в.с.в. В большинстве проб озерных и речных осадков под влиянием прямого источника суммарная доля компонентов препарата в составе ЭОХ достигала 12,7 – 24,3 % (рис. 6), а величина вклада гексахлорбензола под влиянием прямого источника – от 9,7 до 17,6 %. Найдена положительная корреляционная связь между содержанием ЭОХ и $C_{орг}$ ($r = 0,60$, $n = 12$), ЭОХ и ГХБ ($r = 0,84$, $n = 12$), а также между ЭОХ и ПХФ ($r = 0,62$, $n = 12$).

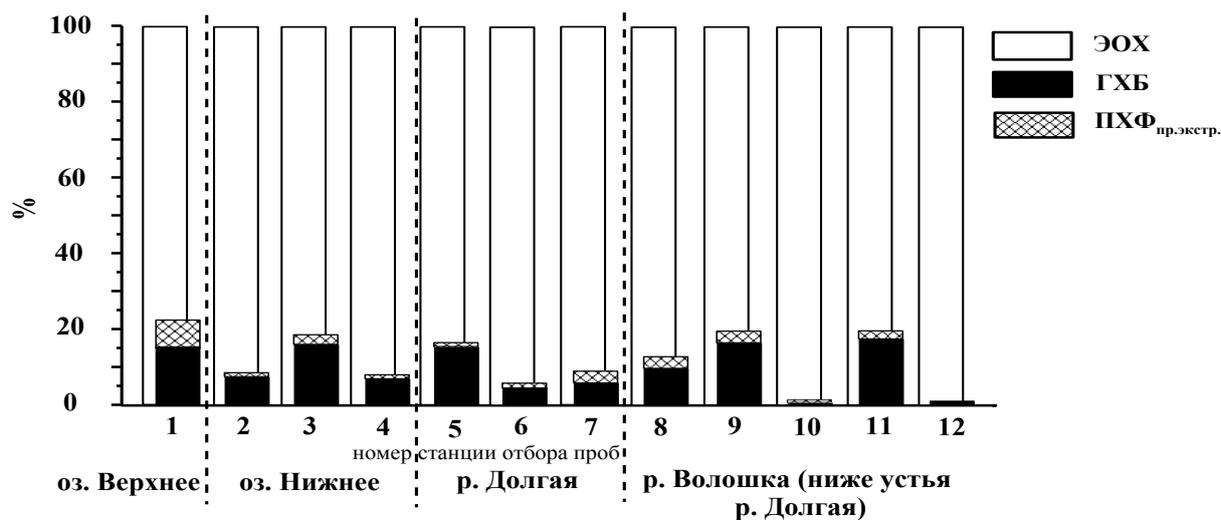


Рис. 6. Распределение ГХБ и ПХФ в ЭОХ в донных осадках водных экосистем под влиянием прямого источника

Выявленные закономерности распределения гексахлорбензола, пентахлорфенола и экстрагируемого органически связанного хлора в донных осадках исследованных водных экосистем свидетельствовали об относительной однородности состава экстрагируемого органического связанного хлора, обусловленного ограниченным набором липофильных ХОС в загрязненных почвах промплощадки лесозавода, под влиянием которых формировались их уровни содержания и состав в условиях слабо урбанизированных территорий, где минимизировано воздействие других источников этих соединений (хозбытовых и ливневых стоков, выбросов от всех видов транспорта, энергетических установок и т.д.).

5.2. Гексахлорбензол в донных осадках водных экосистем, удаленных от прямого источника загрязнения

Референтные образцы донных осадков были отобраны в верхнем течении реки Волошка до впадения Долгой, а также в другом притоке – р. Синцибина, и в проточном озере Святое, расположенном в 40 км в юго-западном направлении от Коношского лесозавода (рис. 7).

Гексахлорбензол был обнаружен повсеместно в донных осадках этих водных экосистем в неожиданно высоких концентрациях. Максимальные количества экотоксиканта найдены в мелкоалевритовых осадках оз. Святое (от 257 до 718 нг/г в.с.в.) и в истоке р. Волошка, ниже д. Площадь (252 нг/г),

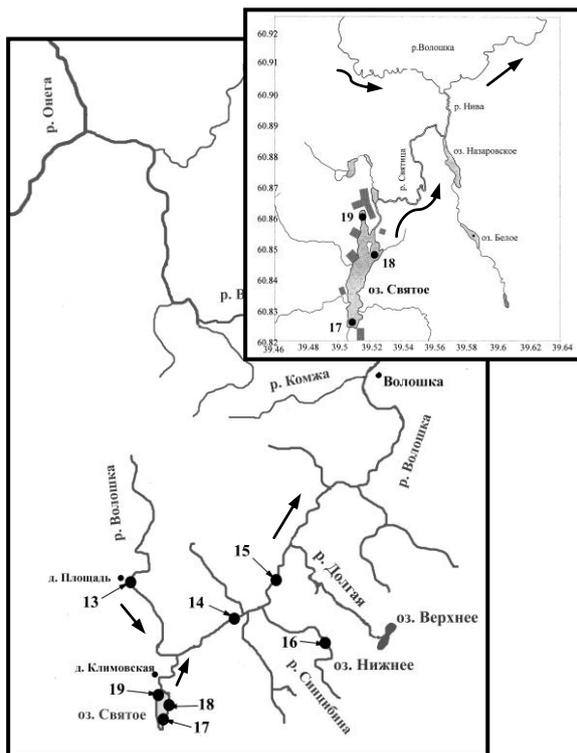


Рис. 7. Расположение станций отбора проб донных осадков водных экосистем, удаленных от прямого источника

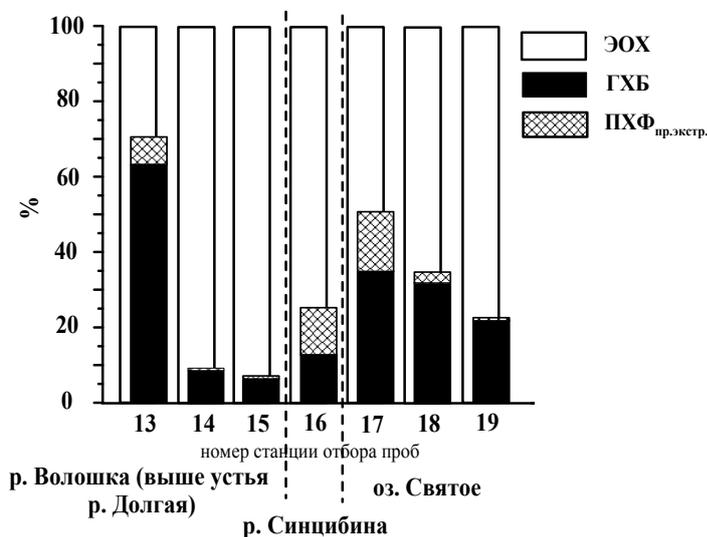


Рис. 8. Распределение ГХБ и ПХФ в ЭОХ в донных осадках водных экосистем, удаленных от прямого источника

составляющие в расчете на органическое вещество от 4180 до 21000 нг/г $C_{орг}$. Пробы этих осадков отличались высоким содержанием $C_{орг}$ (до 7,79 %) при количестве наиболее тонкодисперсной фракции с размером частиц $< 0,001$ мм – от 10,35 до 18,38 %, что предполагало высокую сорбционную способность донных осадков по отношению к загрязнителям, подобным гексахлорбензолу. В речных более грубодисперсных осадках это соединение было найдено в количестве от 6,9 до 23,7 нг/г в.с.в. (от 716 до 1310 нг/г $C_{орг}$).

Концентрации пентахлорфенола (от 3 до 168 нг/г в.с.в.) в исследованных озерных и речных осадках были в 1,5-16 раз ниже по сравнению с гексахлорбензолом; вклад ГХБ в суммарное содержание этих соединений составлял в большинстве проб от 56,5 до 94,1 %; при уровне экстрагируемого органически связанного хлора от 300 до 2500 нг Cl/г в.с.в. на долю гексахлорбензола в его составе приходилось от 21,6 до 34,1 % в осадках оз. Святое и 63,0 % – в истоке р. Волошка (рис.8).

Установленные закономерности, а также довольно тесная корреляционная связь между содержанием ГХБ и ПХФ ($r = 0,77$, $n = 7$), ГХБ и ЭОХ ($r = 0,95$, $n = 7$), свидетельствовали о существовании здесь источника загрязнения водных экосистем, связанного с применением препарата.

Высокие уровни содержания полихлорированных диоксинов и фуранов в осадках верхнего течения Волошки

(6,01 пг I-TEQ/г в.с.в.) и в оз. Святое (61,29 пг I-TEQ/г), а также специфичный конгенерный профиль с преобладающим вкладом ПХДД в общую токсичность,

отражающий «отпечатки пальцев» отечественного препарата пентахлорфенолята натрия (Троянская и др., 2004), подтверждали связь загрязнения гексахлорбензолом с применением этого антисептика.

Обнаружение остаточных компонентов препарата в исследованных водоемах вполне объяснимо, поскольку кроме основного назначения для обработки экспортных пиломатериалов ПХФН использовался населением близлежащих населенных пунктов для хозяйственных целей – в качестве пестицида и биоцида, а также при заготовке древесины в этом районе, что и привело к созданию на водосборных территориях локальных очагов «вторичного» загрязнения донных осадков.

Для выявления фоновых концентраций гексахлорбензола были исследованы малые озера, расположенные на территории Кенозерского национального парка, не подверженные прямому влиянию каких-либо специфических антропогенных источников и удаленные примерно на 200 км от Коношского лесозавода. Рассмотрены малопроточные озера Масельгское/Пежихерье, илистые осадки которых характеризовались высоким содержанием $C_{орг}$ – от 7,78 до 20,71 %.

Гексахлорбензол был обнаружен во всех пробах осадков в концентрациях от 0,6 до 5,6 нг/г в.с.в. с уровнем содержания 11,7 нг/г в единичной пробе (от 4 до 74 нг/г $C_{орг}$), которые оказались более высокими по сравнению с найденными в осадках водных экосистем в удаленных от источников областях согласно литературным данным. Уровни содержания гексахлорбензола и пентахлорфенола в этих пробах были практически одного порядка (рис. 9). При географическом положении исследуемых озер основным источником поступления в донные осадки этих соединений, имеющих антропогенное происхождение, а также образующихся в естественных термических процессах (лесные пожары), является атмосферный перенос.

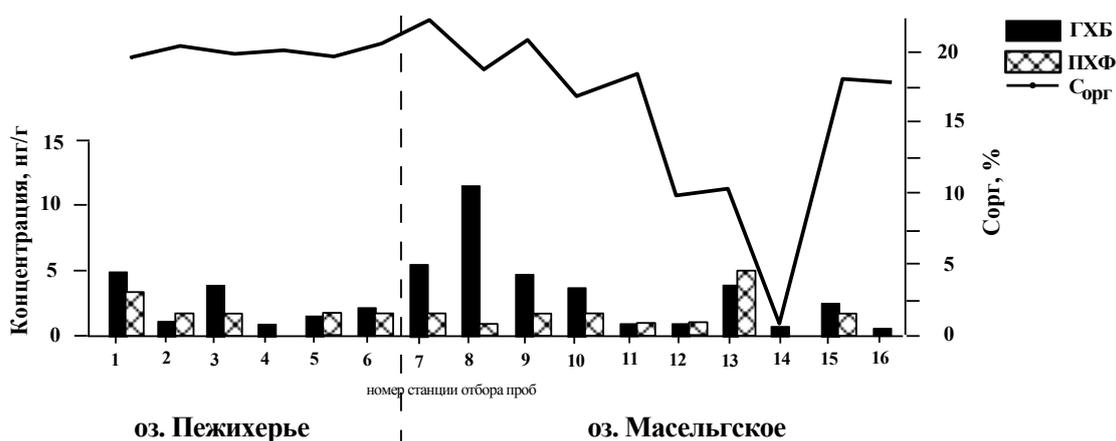


Рис. 9. Распределение ГХБ, ПХФ и $C_{орг}$ в донных осадках малых озер КНП

Известно, что наземные и водные растения, насекомые и другие живые организмы продуцируют широкий спектр биоаккумулируемых и липофильных хлорорганических соединений (Дембицкий, Толстиков, 2003). Естественное продуцирование экстрагируемого органически связанного хлора в компонентах экосистем удаленных районов значительно превышает его поступление атмосферным переносом от антропогенных источников (Suominen et al., 2001).

Уровень его количественного содержания в донных осадках исследованных озер составлял от 900 до 5500 нг С1/г в.с.в. Найденные в осадках озер КНП концентрации гексахлорбензола несоизмеримо малы по сравнению с содержанием экстрагируемого органически связанного хлора, что подтверждает разнородность его состава, формирующегося преимущественно в результате естественных энзиматических процессов как в водной среде, так и в почвах на водосборных площадях озер, а также естественных термических процессов.

Не выявлена значимая корреляционная связь между содержанием ГХБ и $C_{орг}$, ГХБ и ПХФ, ГХБ и ЭОХ в донных осадках, что может быть связано с многообразием источников и состава хлорорганических соединений, а также с особенностями протекания седиментационных процессов и распределения загрязнителей, отличающихся по липофильности и сорбционной способности в осадках, формирующихся в условиях гидродинамики озерных экосистем.

В анализированных пробах донных осадков озер Масельское/Пежихерье содержание полихлорированных диоксинов и фуранов составляло 0,13 и 1,78 нг I-TEQ/г в.с.в. Конгенерный профиль ПХДД и ПХДФ в токсическом эквиваленте отражал связь загрязнения озерных экосистем с ПХФН, поступление которого в малые озера КНП происходило в результате локального и регионального атмосферного переноса в период интенсивного применения отечественного препарата в лесопромышленном комплексе.

ВЫВОДЫ

1. Модифицирована на стадии пробоподготовки методика определения гексахлорбензола для применения в составе общей схемы целевого анализа почв и донных отложений при выполнении исследований по оценке загрязнения липофильными хлорорганическими соединениями объектов окружающей среды под влиянием долговременного применения отечественного препарата пентахлорфенолята натрия. Показано, что применение модифицированной методики позволяет сократить длительность и снизить трудоемкость процедуры пробоподготовки. Достоверность и эффективность методики подтверждена на основании сравнительного анализа с результатами измерений, полученными по метрологически аттестованной методике определения галоидорганических пестицидов в почвах (РД 52.18.649-2003).

2. Впервые проведены исследования и выявлены закономерности распределения остаточных хлорароматических компонентов отечественного препарата пентахлорфенолята натрия в почвах на промплощадке Коношского лесозавода. Обнаружено чрезвычайно высокое содержание остаточного гексахлорбензола в поверхностном слое (0-20 см) почв и на глубине (до 100 см) – от 0,6 до 42300 мкг/г в.с.в., на 1-8 порядков превышающее существующие зарубежные национальные и отечественные нормативы. Выявлены высококонтрастные участки загрязнения гексахлорбензолом, что обусловлено различной нагрузкой по антисептику и связано с расположением технологических узлов производственного процесса. Максимальные концентрации гексахлорбензола (от 17000 до 42300 мкг/г) найдены в поверхностном слое сильно загрязненных по типу «горячих точек» почв на

участке антисептирования, где количество экотоксиканта в 21-47 раз превышало концентрации пентахлорфенола.

3. Экспериментально показано, что остаточные количества липофильных хлорорганических компонентов препарата в современных почвах описываются обобщенным показателем – экстрагируемый органически связанный хлор. Относительная однородность состава ЭОХ и его устойчивой фракции при доминирующем вкладе гексахлорбензола (от 87,7 до 98,3 %) в поверхностном слое почв предполагает возможность использования этого обобщенного показателя в качестве «маркера» для локализации «горячих точек» в современных почвах на территориях, загрязненных от применения отечественного препарата пентахлорфенолята натрия для антисептирования пиломатериалов.

4. Установлено, что в поверхностном слое грубодисперсных донных осадков в бассейне р. Волошка в зоне влияния Коношского лесозавода формируется высокий уровень накопления гексахлорбензола (от 2,8 до 293 нг/г в.с.в.) с максимальным содержанием экотоксиканта в осадках озер Нижнее/Верхнее вблизи загрязненной территории и снижением концентраций в речных осадках по мере удаления от прямого источника. Выявлено сходство в распределении остаточных липофильных хлорорганических компонентов пентахлорфенолята натрия как в почвах на загрязненных участках промплощадки лесозавода, так и в донных отложениях водоемов, подверженных влиянию источника. По аналогии с сильно загрязненными почвами в осадках водных экосистем сохранялась закономерность формирования относительно однородного состава экстрагируемого органически связанного хлора при существенном суммарном вкладе компонентов препарата, составляющем в большинстве проб от 12,7 до 24,3 %, и преобладающей долей гексахлорбензола (от 9,7 до 17,6 %).

5. Обосновано, что накопление высоких концентраций гексахлорбензола (от 6,9 до 718 нг/г в.с.в.) в озерных и речных осадках водных экосистем, не подверженных прямому воздействию Коношского лесозавода, происходит под влиянием локальных очагов «вторичного» загрязнения, сформированных в результате «нецелевого» применения отечественного препарата пентахлорфенолята натрия. Связь загрязнения с использованием антисептика подтверждена специфическим конгенерным профилем полихлорированных диоксинов и фуранов в пробах озерных и речных осадков.

6. Выявлено присутствие гексахлорбензола в донных осадках малых озер Кенозерского национального парка в концентрациях от 0,6 до 11,7 нг/г в.с.в. и незначительном вкладе этого соединения антропогенного происхождения в содержание экстрагируемого органически связанного хлора, формирующегося в озерных осадках преимущественно в результате естественных энзиматических и естественных термических процессов. Конгенерный профиль полихлорированных диоксинов и фуранов в пробах донных отложений отражал комбинацию источников с преимущественным вкладом пентахлорфенолята натрия, предполагая глобальный и региональный атмосферный перенос в качестве основного пути поступления гексахлорбензола в озера, не подверженные прямому антропогенному влиянию.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в российских рецензируемых научных журналах:

1. Троянская, А.Ф. Современное состояние почв по загрязнению устойчивыми хлорорганическими соединениями от применения пентахлорфенолята натрия на территории Архангельской области [Текст] / А.Ф. Троянская, **А.В. Вельямидова** // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2009. – № 1. – С. 108-115.
2. Троянская, А.Ф. Современное состояние донных осадков бассейна реки Онеги по загрязнению хлорорганическими соединениями [Текст] / А.Ф. Троянская, **А.В. Вельямидова** // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2009. – № 2. – С. 111-119.
3. **Вельямидова, А.В.** Устойчивые хлорорганические соединения в донных осадках озера Святое на территории Архангельской области [Текст] / **А.В. Вельямидова**, А.Ф. Троянская, Е.С. Колпакова, И.А. Никитина // Вестник Московского государственного областного университета. – 2012. – № 2. – С. 7-18.

Материалы конференций и симпозиумов:

1. Троянская, А.Ф. Поведение устойчивых хлорорганических соединений в компонентах водных экосистем Архангельской области [Текст] / А.Ф. Троянская, Н.А. Рубцова, Е.А. Вахрамеева, **А.В. Вельямидова** // Академическая наука и ее роль в развитии производительных сил в северных регионах России: Материалы всероссийской конференции с международным участием ИЭПС УрО РАН, Архангельск. – 2006. – 1 электрон. опт. диск.
2. Троянская, А.Ф. Суммарные параметры для оценки высоколипофильных хлорорганических соединений в почвах, загрязненных по типу «горячих точек» [Текст] / А.Ф. Троянская, Е.А. Вахрамеева, Н.А. Рубцова, **А.В. Вельямидова** // Экоаналитика-2006: Тезисы VI всероссийской конференции по анализу объектов окружающей среды, Самара. – 2006. – С. 276.
3. Troyanskaya, A.F. Distribution of hexachlorobenzene and PCDDs/PCDFs in soils and sediments of aquatic ecosystems in the north of Russia under the influence of timber industry [Text] / A.F. Troyanskaya, **A.V. Veliamidova** // Organohalogen Compounds. – 2007. – V. 69. – P. 1552-1555.
4. **Вельямидова, А.В.** Методический аспект определения остаточных количеств гексахлорбензола в почвах [Текст] / **А.В. Вельямидова**, А.Ф. Троянская // Экология-2007: Материалы международной молодежной конференции ИЭПС УрО РАН, Архангельск. – 2007. – С. 111-112.
5. **Вельямидова, А.В.** Гексахлорбензол в донных осадках озерных экосистем южных районов Архангельской области [Текст] / **А.В. Вельямидова**, А.Ф. Троянская // Экология-2011: Тезисы докладов IV международной молодежной конференции ИЭПС УрО РАН, Архангельск. – 2011. – С. 224-225.
6. **Вельямидова, А.В.** Стойкие органические загрязнители в донных осадках пресноводных озер на северо-западе России [Текст] / **А.В. Вельямидова**, А.Ф. Троянская // Экоаналитика-2011: Тезисы докладов VII всероссийской конференции по анализу объектов окружающей среды, Архангельск. – 2011. – С. 91.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

в.с.в.	- воздушно-сухое вещество
ВЭЖХ	- высокоэффективная жидкостная хроматография
ГХБ	- гексахлорбензол
ГХ-ЭЗД	- газовая хроматография с электронозахватным детектированием
КНП	- Кенозерский национальный парк
ОСО	- относительное стандартное отклонение
ПХДД	- полихлорированные дибензо- <i>p</i> -диоксины
ПХДФ	- полихлорированные дибензофураны
ПХФ	- пентахлорфенол
ПХФН	- пентахлорфенолят натрия
СОЗ	- стойкие органические загрязнители
ЭОХ	- экстрагируемый органически связанный хлор
ЭОХ _{уст}	- устойчивая фракция экстрагируемого органически связанного хлора
$C_{орг}$	- органический углерод
I-TEQ	- диоксиновый эквивалент в системе международных факторов токсичности (International toxicity equivalent)
K_{ow}	- коэффициент распределения в системе октанол/вода