

## ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 504.064 + 504.3.054 (571)

Е. А. МАМОНТОВА\*, Е. Н. ТАРАСОВА\*, А. А. МАМОНТОВ\*, М. И. КУЗЬМИН\*,  
 Б. З. БОРИСОВ\*\*, А. П. БУЛЬБАН\*\*\*, С. Г. ЮРЧЕНКО\*\*\*\*, Е. В. ЛЕПСКАЯ\*\*\*\*,  
 С. И. ЛЕВШИНА\*\*\*\*\*, О. Д. ТРЕГУБОВ\*\*\*\*\*

\*Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск

\*\*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск

\*\*\*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, г. Магадан

\*\*\*\*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

\*\*\*\*\*Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,  
 г. Петропавловск-Камчатский

\*\*\*\*\*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск

\*\*\*\*\*Чукотский филиал Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института  
 ДВО РАН, г. АнадырьСТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ НЕКОТОРЫХ  
 ТЕРРИТОРИЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

*Представлены данные исследования СОЗ в атмосферном воздухе азиатской части России, полученные методом пассивного пробоотбора, которые показали уровни, соответствующие как фоновым мировым уровням, так и наибольшим значениям СОЗ в крупных промышленных городах мира. ПБДЭ в атмосферном воздухе на всех исследованных территориях не были обнаружены или найдены в следовых количествах. Концентрации остальных СОЗ в атмосферном воздухе не превышали ПДК и ОБУВ, принятых в России. Количественный и качественный состав СОЗ в атмосферном воздухе обусловлены процессами обмена в системе почва–атмосферный воздух в результате действия отрицательных и положительных температур, температурных инверсий, выпадения осадков и др., трансграничным атмосферным переносом и современными локальными источниками. Настоящее исследование является первым шагом в изучении определения сезонных изменений концентраций СОЗ и их соотношения в атмосферном воздухе и в почвах.*

Ключевые слова: ПХБ, ХОП, атмосферный воздух, трансграничный перенос.

*Presented are the data derived from investigating POPs in the atmospheric air over the Asian part of Russia by using the method of passive sampling, showing the levels corresponding both to background world levels and to the largest values of POPs in major industrial cities of the world. Either polybromdiphenyl ethers (PBDEs) were not detected in the atmospheric air over all the study territories or they were not revealed in trace amounts. Concentrations of the other POPs did not exceed maximum permissible concentrations (MPCs) and safe reference levels of impact (SRLI) as adopted in Russia. The quantitative and qualitative compositions of POPs are conditioned to exchange processes in the soil–atmospheric air system due to the action of negative and positive temperatures, temperature inversions, atmospheric precipitation and other depositions, transboundary atmospheric transport and contemporary local sources of pollution. This study is the first step on the road to studying the determination of seasonal changes in POPs and their relationship in the atmospheric air and in soils.*

Keywords: PCBs, COPs, atmospheric air, transboundary transport.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Группа стойких органических загрязнителей (СОЗ) объединяет соединения, которые способны длительно сохраняться в окружающей среде, переноситься на большие расстояния от места их первичного источника или использования, накапливаться по пищевым цепям; токсичны для человека и

© 2012 Мамонтова Е. А. (elenam@igc.irk.ru), Тарасова Е. Н. (tarasova@igc.irk.ru), Мамонтов А. А. (mamontov@igc.irk.ru), Кузьмин М. И. (dir@igc.irk.ru), Борисов Б. З. (bzborisov@mail.ru), Бульбан А. П. (bulban@neisri.ru), Юрченко С. Г. (yurchenko@tig.dvo.ru), Лепская Е. В. (lepskaya@list.ru),  
 Левшина С. И. (levshina@iver.as.khb.ru), Трегубов О. Д. (tregubov2@yandex.ru)

других живых организмов [1, 2]. В число СОЗ входят полихлорированные бифенилы (ПХБ), гексахлорбензол (ГХБ), хлорорганические пестициды ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -гексахлорциклогексаны (ГХЦГ), ДДТ и его метаболиты), полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ), полихлорированные диоксины и фураны и др.

Поведение СОЗ в окружающей среде определяется их физико-химическими свойствами и климатическими характеристиками территорий, особенно температурой [3]. Положительные температуры благоприятствуют испарению с поверхности почвы, тогда как минусовые температуры способствуют большей адсорбции СОЗ на частицах в воздухе и осаждению из атмосферы на поверхность почвы и воды. Предполагается, что СОЗ могут мигрировать в высокие широты серией относительно коротких прыжков (эффект «прыгающего кузнечика») в соответствии с сезонными изменениями температур: зимой они осаждаются, летом испаряются и перемещаются по направлению к высоким широтам [3]. Полюсов достигает небольшая часть СОЗ, однако, так как полярная часть земного шара имеет относительно меньшую площадь, то концентрации там выше, чем в тропических и средних широтах [1, 3], к тому же в холоде реакции природного распада СОЗ замедляются, позволяя дольше сохраняться в экосистеме [1, 3].

Изменение климата может способствовать поступлению СОЗ в атмосферный воздух как в результате вторичного испарения из почв при повышении температуры, так и при появлении новых источников СОЗ [4]. Например, необходимость использования ДДТ против переносчиков возбудителей трансмиссивных заболеваний, в частности комаров — переносчиков возбудителя малярии в северных районах, где это заболевание раньше не отмечалось [4]. Значение имеют частота экстремальных событий, изменения распространения и скорости ветров, количество осадков, таяние многолетней мерзлоты, ледников и полярных снегов, а также биотический транспорт при изменениях путей миграций животных и птиц и при их проникновении на территории, где они раньше не встречались [4].

Результаты моделирования будущих изменений климата на территории России показывают потепление климата, превышающее среднее глобальное потепление [5]. Наибольшие изменения коснутся северных районов и азиатской части России (АЧР) [5]. Температуры зимой в Арктике могут повыситься на 4–5 °С, а летом на юге Сибири — на 2–3 °С [5], что будет способствовать вторичному поступлению СОЗ в атмосферный воздух с поверхности почв и мест хранения СОЗ, в том числе со свалок. Увеличение количества осадков зимой в Сибири приведет к увеличению речного стока и сильным наводнениям весной [5], что вызовет смыв накопленных СОЗ с частицами почв и включению их в пищевые цепи в реках и затем в северных морях.

Для контроля выполнения обязательств по Стокгольмской конвенции по СОЗ 2001 г. рекомендуется проводить многолетние исследования содержания СОЗ в атмосферном воздухе [6]. К настоящему времени Стокгольмская конвенция по СОЗ подписана и ратифицирована более чем 170 странами, в том числе Российской Федерацией [2, 6]. Результатом выполнения Стокгольмской конвенции должны стать уменьшение уровней СОЗ и снижение нагрузки СОЗ на экосистемы и организм человека [2, 6]. Российские исследования атмосферного воздуха по содержанию СОЗ проводятся в основном на станциях в Арктике и в некоторых городах европейской части страны [1, 7–9].

Цель нашего исследования — изучить распределение СОЗ в атмосферном воздухе некоторых районов азиатской части России в 2008–2009 гг. с использованием метода пассивного пробоотбора.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились с использованием пассивных воздушных пробоотборников (ПВП). Метод основан на способности сорбирующей среды, полиуретановой пены, удерживать СОЗ, что описывается коэффициентами разделения среда–воздух и октанол–вода [10]. Данный метод пробоотбора имеет преимущество перед активным забором воздуха в том, что он дает возможность получать информацию для длительного непрерывного промежутка времени (от одного-двух месяцев до года в зависимости от сорбирующей среды), не требует использования насосов и источников электроэнергии для них. Отбор с использованием ПВП можно производить одновременно в нескольких точках, удаленных друг от друга. Кроме того при этом методе используется оборудование, не требующее значительных финансовых вложений и простое в использовании при отборе проб [10].

Пробоотборник представляет собой контейнер из двух металлических полусфер, скрепленных металлической шпилькой, между которыми установлен диск-картридж из полиуретановой пены [10]. Такие диски предварительно очищены хлористым метилом в аппаратах Сокслетта. Пробоотборни-

Данные по установке пассивных воздушных пробоотборников

Место установки	Сроки	
	лето 2008 г.	зима 2008–2009 гг.
Пригород Енисейска	4.07.08–8.09.08	6.12.08–7.02.09
Пригород Красноярска	20.06.08–23.08.08	26.12.08–3.03.09
Красноярск	21.06.08–24.08.08	25.12.08–26.02.09
Красноярский край, Богучанский р-н, пос. Геофизиков	28.06.08–28.08.08	10.01.09–10.03.09
Пригород Иркутска	13.06.08–22.08.08	6.12.08–27.02.09
Иркутск	18.06.08–28.08.08	15.12.08–8.03.09
Республика Бурятия, пос. Саган-Нур	22.06.08–25.08.08	–
Пригород Петровского Завода	28.05.08–31.07.08	15.12.08–15.02.09
Петровский Завод	28.05.08–31.08.08	15.12.08–15.02.09
Республика Саха, р. Кэнкэмэ	26.06.08–28.08.08	28.12.08–10.03.09
Республика Саха, Спасская падь	18.06.08–20.08.08	24.12.08–15.03.09
Якутск	15.06.08–15.08.08	15.12.08–15.02.09
Владивосток	28.07.08–20.10.08	22.12.08–28.02.09
Пригород Владивостока	22.07.08–28.09.08	24.12.08–26.02.09
Хабаровский край, Хехцырский заповедник	27.06.08–27.08.08	14.01.09–14.03.09
Хабаровск	23.06.08–23.08.08	14.01.09–14.03.09
Хабаровский край, с. Славянка	25.06.08–27.08.08	18.01.09–18.03.09
Магаданская обл., пос. Снежный	24.06.08–28.08.08	28.12.08–28.02.09
Магадан	25.06.08–29.08.08	28.12.08–28.02.09
Камчатский край, оз. Курильское	2.07.08–26.08.08	–
Пригород Петропавловска-Камчатского	25.07.08–2.09.08	17.01.09–2.04.09
г. Анадырь	25.05.08–15.08.08	2.01.09–2.03.09

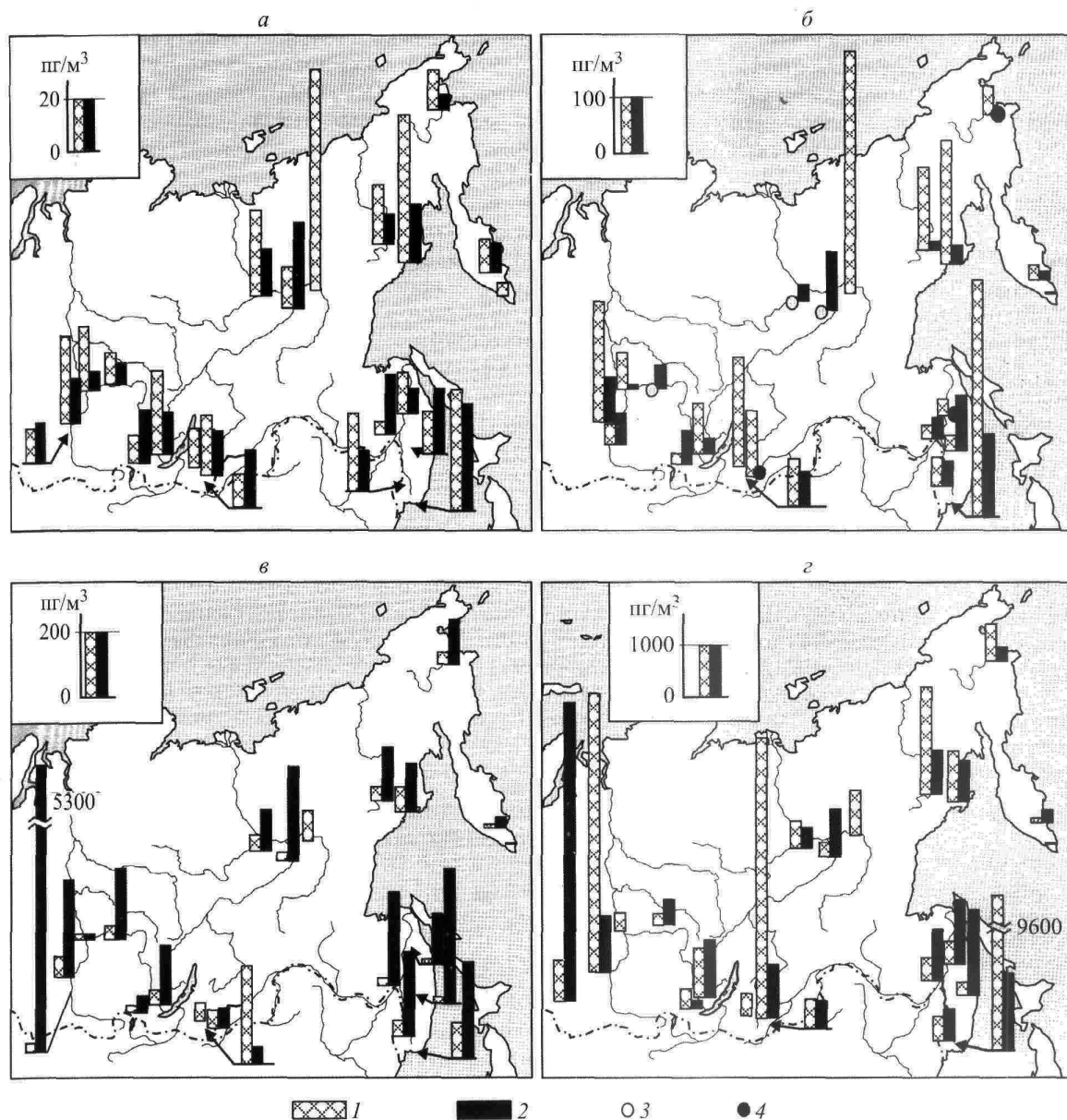
ки устанавливались в 22 пунктах АЧР (в девяти городах и их пригородах, в четырех поселках и в удаленных районах) в течение двух месяцев летом 2008 г. и в 20 пунктах зимой 2008–2009 гг. (данные представлены в табл. 1). Установка ПВП осуществлялась авторами — сотрудниками институтов Сибирского и Дальневосточного отделений РАН (Якутск, Магадан, Анадырь, Петропавловск-Камчатский, Хабаровск, Владивосток, Иркутск), а также местными жителями (в городах Красноярск, Енисейск, Петровск-Забайкальский).

После экспонирования диски-картриджи хранились при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$  и анализировались по методу, описанному в [11] и включающему экстракцию метиленом хлористым в аппаратах Соклетта в течении 10 ч, очистку на колонке с окисью алюминия, силикагелем и сульфатом натрия ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--SiO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4\text{--Na}_2\text{SO}_4$ ), выпаривание на роторном испарителе с доупариванием в токе азота. В пробах определяли 28 конгенов ПХБ, *p,p'*-ДДТ, *p,p'*-ДДД, *p,p'*-ДДЭ,  $\alpha$ -ГХЦГ, ГХБ, ПБДЭ.

Анализ проводился с использованием газового хроматографа HP 5890 series II с электрозахватным детектором. Для контроля качества анализа и пробоотбора использован метод полевых и лабораторных бланков. Наибольшее количество определяемого вещества в бланках не превышало 10 % от количества в использованных дисках-картриджах. При расчетах концентрации  $\text{CO}_3$  в воздухе принимали, что в день через ПВП и сорбирующую среду проходит примерно 3–4 м<sup>3</sup> (в среднем 3,5 м<sup>3</sup>) [11]. Данная величина получена в эксперименте в сравнении с активным пробоотбором [11] и подтверждена при выполнении глобального проекта исследования атмосферного воздуха с использованием пассивного пробоотбора (GAPS-study — Global Atmospheric Passive Sampling study) [12].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ПХБ, ГХБ, *pp'*-ДДЭ и *pp'*-ДДТ обнаружены во всех исследованных пробах атмосферного воздуха (см. рисунок, а, в, г).  $\alpha$ -ГХЦГ найден в 82–85 % проб (см. рисунок, б).  $\alpha$ -ГХЦГ отсутствовал в воздухе г. Якутска и в районе р. Кэнкэмэ в Якутии, в Богучанском районе Красноярского края летом



Распределение  $\text{CO}_3$  в атмосферном воздухе АЧР ( $\text{pg}/\text{m}^3$ ).

*a* – ГХБ; *б* –  $\alpha$ -ГХЦГ; *в* – сумма шести индикаторных ПХБ; *г* – сумма ДДТ и его метаболитов.  
 1 – лето 2008 г.; 2 – зима 2008–2009 гг.; 3 – лето 2008 г., не обн.; 4 – зима 2008–2009 гг., не обн.

2008 г и в пос. Славянка Хабаровского края, г. Анадырь и в пригороде г. Петровска-Забайкальского Читинской области зимой 2008–2009 гг. ПБДЭ в атмосферном воздухе на всех исследованных территориях не были обнаружены или найдены в следовых количествах, тогда как в воздухе сопредельных стран они определены в высоких концентрациях [13]. ПБДЭ зарегистрированы в атмосферном воздухе городов европейской части России и на некоторых метеостанциях в Российской Арктике [8, 9]. Основным источником поступления ПБДЭ в окружающую среду в настоящее время является переработка отходов оргтехники, в состав пластика которой входят антипирены [2]. Во всех пробах кон-

центрации СОЗ значительно ниже ПДК и ориентировочно безопасного уровня воздействия (ОБУВ), принятых в России для атмосферного воздуха, которые составляют 0,001; 0,001 и 0,013 мг/м<sup>3</sup> для ДДТ, ГХЦГ и ГХБ соответственно [14].

Средние концентрации суммы ДДТ и его метаболитов, α-ГХЦГ, ГХБ, суммы 28 ПХБ и 6 индикаторных ПХБ в атмосферном воздухе АЧР, не учитывая их максимальные уровни, составляли летом 2008 г. 215, 86, 24, 498 и 197 пг/м<sup>3</sup> соответственно, и зимой 2008–2009 гг. — 150, 55, 17, 1985 и 775 пг/м<sup>3</sup> соответственно. Максимальные уровни СОЗ, превышающие зарегистрированные в других регионах мира, получены в нескольких случаях (см. рисунок, б, в, г): α-ГХЦГ — летом 2008 г. в населенном пункте Спасская Падь в Якутии (425 пг/м<sup>3</sup>) и в г. Владивостоке (415 пг/м<sup>3</sup>); pp'-ДДТ и pp'-ДДЭ — летом 2008 г. в г. Владивостоке (7015 и 2355 пг/м<sup>3</sup> соответственно) и зимой 2008–2009 гг. — в пригороде г. Красноярска (585 и 490 пг/м<sup>3</sup> соответственно); ПХБ — летом 2008 г. в г. Петровск-Забайкальский (1370 пг 6 индикаторных ПХБ/м<sup>3</sup> и 3560 пг 28 ПХБ/м<sup>3</sup>) и зимой 2008–2009 гг. — в заповеднике Хэцзыр в Хабаровском крае (1885 и 5054 пг/м<sup>3</sup> соответственно).

Большинство концентраций исследованных СОЗ в атмосферном воздухе АЧР (см. рисунок) находятся в пределах уровней СОЗ, зарегистрированных в других странах мира (табл. 2). Они также сравнимы и выше, чем на европейской части России [12] и на территории Иркутской области [11].

Наименьшие концентрации ДДТ, ГХЦГ и ПХБ, найденные в районе оз. Курильское на Камчатке (pp'-ДДТ — 1,1 пг/м<sup>3</sup>, α-ГХЦГ — 2,9 пг/м<sup>3</sup>, сумма 28 конгенов ПХБ — 29,4 пг/м<sup>3</sup>, сумма 6 индикаторных конгенов ПХБ — 13 пг/м<sup>3</sup>), соответствуют фоновым уровням [12] и сопоставимы с уровнями данных соединений, полученных методом активного пробоотбора в российской Арктике в августе–сентябре 2002 г. (метеостанция Валькаркай: pp'-ДДТ — 2 пг/м<sup>3</sup>, α-ГХЦГ — 10 пг/м<sup>3</sup>, 10 конгенов ПХБ — 30 пг/м<sup>3</sup>, 62 конгенера ПХБ — 70 пг/м<sup>3</sup>; Амдерма — pp'-ДДТ — 0,5 пг/м<sup>3</sup>, α-ГХЦГ — 19 пг/м<sup>3</sup>, 10 конгенов ПХБ — 2 пг/м<sup>3</sup>) [7], сравнимы и ниже величин, полученных в апреле–сентябре 2008 г. (Валькаркай: α-ГХЦГ — 27 пг/м<sup>3</sup>, pp'-ДДТ — 1,5 пг/м<sup>3</sup>, 62 конгенера ПХБ — 10–683 (средняя — 147) пг/м<sup>3</sup>) [8] и в январе–апреле 2009 г. (Валькаркай: сумма ДДТ — 1,1 пг/м<sup>3</sup>, сумма ГХЦГ — 13 пг/м<sup>3</sup>, 10 конгенов ПХБ — 21,8 пг/м<sup>3</sup>, 58 конгенера ПХБ — 28,5–63,2 (средняя — 44,8) пг/м<sup>3</sup>) [9].

Таблица 2

Сравнение концентраций СОЗ (пг/м<sup>3</sup>) в атмосферном воздухе АЧР и других регионов мира при исследованиях с использованием метода пассивного пробоотбора

Страна	Время отбора	ПХБ		pp'-ДДЭ	pp'-ДДТ	α-ГХЦГ	ГХБ	Σ ПБДЭ	Лит. источник
		п	С						
АЧР без Иркутской области	VI–X.2008	28	29–1550	2–510	1,1–650	2,9–217	4,71–84	< по – сл.	
		6	13–490						
	XII.2008–II.2009	28	217–3530	19–130	21–170	8,6–144	5,8–40	< по – сл.	
		6	83–1370						
Иркутская область	VI–VIII.2008	28	280–2730	31–620	24–760	19–365	—	< по	[11]
		6	99–1026						
GAPS-study	XII.2004–III.2005	48	0,1–2830	0,1–192	—	0,1–145	—	< по – 24	[12]
Европа	VI–VII. 2002	29	20–1700	0,4–25	0,6–190	14–100	11–50	0,5–250	[15]
ВСаО	VII.2002–VI.2003	11	15–960	—	—	15–73	—	< 3–37	[16]
Чили	XII.2002–II.2003	48	1,9–53	—	Не обн.	3,5–7,3	—	—	[17]
Китай	IX–XI.2004	29	21–336	2,8–380	2–928	—	10,4–462	0,13–340	[13]
		7	7–117						
Япония	IX–XI.2004	29	7–247	1,62–544	4,4–146	—	14–95	5–71	[13]
		7	1,6–76						
Индия	VII–IX.2006	28	120–1080	6–2061	2–387	12–1691	—	1–181	[18]

Примечание. ВСаО — Великие североамериканские озера, п — кол-во конгенов ПХБ, С — концентрация, < по — ниже предела обнаружения.

Концентрации ПХБ и ГХЦГ в атмосферном воздухе г. Иркутска летом 2008 г. (сумма ПХБ — 430  $\mu\text{г}/\text{м}^3$ , 6 индикаторных ПХБ — 210  $\mu\text{г}/\text{м}^3$ ,  $\alpha$ -ГХЦГ — 90  $\mu\text{г}/\text{м}^3$ ) были значительно ниже, чем уровни, полученные с использованием активного метода пробоотбора в городе в августе 1988 г. (сумма ПХБ — 0,7–1,4  $\text{мкг}/\text{м}^3$ ) и в июне 1991 г. (сумма ПХБ — 1324 (1213–1387)  $\mu\text{г}/\text{м}^3$ ,  $\alpha$ -ГХЦГ — 1810–3317  $\mu\text{г}/\text{м}^3$ ) [19, 20]. С другой стороны, уровни ДДТ в атмосферном воздухе летом 2008 г. в Иркутске были несколько выше, чем в июне 1991 г. ( $pp'$ -ДДТ — 132 и 51 (35–66)  $\mu\text{г}/\text{м}^3$  и  $pp'$ -ДДЭ — 57 и 30 (22–38)  $\mu\text{г}/\text{м}^3$  соответственно) [20].

В общем количестве хлорорганических пестицидов (ХОП) доминируют ДДТ. Их доля в сумме ХОП составляет 60–75 %. Доля ГХЦГ изменяется от 4 % в г. Владивостоке до 65 % в Читинской области летом и от 5 % в пригороде Красноярска до 33 % в г. Якутске зимой. Меньший вклад в сумму ХОП вносит ГХБ (в среднем 13 % летом и 8,5 % зимой).

Летом в некоторых районах Магаданской области, Красноярского и Приморского краев суммарные концентрации ХОП выше, чем ПХБ, в 1,3–8,9 раз. Здесь преобладают ДДТ и его метаболиты. На остальных территориях и зимой уровни ПХБ в атмосферном воздухе выше суммарного количества ХОП в 1,1–26 и 1,7–27 раз соответственно.

К. Rozo с соавторами [12] обнаружили в атмосферном воздухе европейской части России наибольшие среди стран Европы концентрации ДДТ и ДДЭ. В настоящем исследовании получены также значительные содержания ДДТ и ДДЭ в атмосферном воздухе АЧР, хотя в большинстве случаев они ниже, чем максимальные величины в Индии и Китае, где этот пестицид продолжает использоваться. Отношение  $pp'$ -ДДТ/ $pp'$ -ДДЭ в воздухе АЧР летом составляло 0,48–6,43 и зимой — 0,77–2,67, что говорит о недавнем поступлении исходного пестицида (ДДТ) в окружающую среду, в том числе вследствие трансграничного атмосферного переноса, и в то же время это может быть результатом прежнего использования пестицида до его запрета (испарение с почв, с территории складирования и т. п.). Для сравнения в воздухе в Китае величины ДДТ/ДДЭ в течении года изменялись от 0,04 до 23 [21]. Кроме того, значения  $pp'$ -ДДТ/ $pp'$ -ДДЭ в атмосферном воздухе и почвах одних и тех же регионов АЧР не всегда совпадают, что так же указывает на трансграничный атмосферный перенос ДДТ. В почвах Магаданской области  $pp'$ -ДДТ/ $pp'$ -ДДЭ изменяется от 2,1 до 11, что сопоставимо с данной величиной в атмосферном воздухе летом (2,4–6,4) и предполагает вклад вторичного испарения ДДТ из почв летом. В заповеднике Хэхцыр в Хабаровском крае величина  $pp'$ -ДДТ/ $pp'$ -ДДЭ составляет 36 и 1 в почвах и атмосферном воздухе соответственно, что может говорить о дополнительном поступлении  $pp'$ -ДДЭ из других районов, где ДДТ использовался в прошлом. С другой стороны, в Красноярске и его пригороде  $pp'$ -ДДТ/ $pp'$ -ДДЭ в почвах равняется 0,4–0,5, а в воздухе 1,8–1,9 летом и 1,2–1,3 зимой, что может свидетельствовать о дополнительном поступлении  $pp'$ -ДДТ с воздушными массами из других регионов.

Концентрации ДДТ, ДДЭ,  $\alpha$ -ГХЦГ, ГХБ в атмосферном воздухе АЧР зимой были ниже, чем летом, что может быть связано с уменьшением поступления этих соединений зимой из почв в воздух в районах, где эти соединения активно применялись в прошлом или применяются в настоящем, в том числе с атмосферным переносом из сопредельных государств и прилегающих территорий, а также с мест их складирования при нарушении условий хранения [22].

Концентрации ПХБ в зимнее время обычно больше в 1,9–42 раза, чем летом. В двух случаях концентрации зимой и летом были практически одинаковыми (в пригороде Петровска-Забайкальского и в г. Енисейск) и в одном случае летом уровни ПХБ больше, чем зимой в 5,8 раза (г. Петровск-Забайкальский). Гомологический состав ПХБ также отличается: зимой несколько больше доля пентаХБ (26 %), чем летом (22 %), и меньше низкохлорированных гомологов ПХБ (диХБ — 6 и 15 % соответственно, и триХБ — 2,4 и 9 % соответственно). ТетраХБ доминируют в течение всего года (по 47 % летом и зимой). Подобный гомологический состав ПХБ в атмосферном воздухе может быть результатом трансформации исходной технической смеси ПХБ (совол), в которой доминируют пентаХБ [23], при испарении с поверхности почв, под действием ультрафиолета и т. п. Увеличение доли пентаХБ зимой предполагает более интенсивное поступление ПХБ в окружающую среду из первичных источников. Возможными источниками могут быть электротехническое оборудование, содержащее ПХБ (трансформаторы и конденсаторы), которое еще используется на предприятиях или хранится на складах [2], а также процессы горения в отопительный сезон.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования концентраций СОЗ в атмосферном воздухе азиатской части России методом пассивного пробоотбора показали, что они сравнимы как с таковыми в фоновых регионах мира, так и в крупных промышленных городах мира. Во всех случаях концентрации СОЗ не превышали ПДК и ОБУВ, принятых для атмосферного воздуха на территории России. Количественный и качественный состав СОЗ в атмосферном воздухе АЧР, вероятно, является результатом взаимодействия процессов испарения, осаждаемых ранее СОЗ на поверхность почв, трансграничного атмосферного переноса и эмиссий СОЗ из современных локальных источников.

Настоящее исследование является первым этапом в получении долговременных рядов наблюдения концентраций СОЗ в атмосферном воздухе методом пассивного пробоотбора и в изучении изменений по сезонам года. Продолжение исследований позволит изучить факторы, влияющие на распределение СОЗ в окружающей среде, и прогнозировать их поведение при изменении климата в умеренном и арктическом климатических поясах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (07–05–92116–ГФЕН, 10–05–00663 и 10–05–93173–Монг).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues. Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP). — Oslo, Norway, 1998. — 859 p.
2. Худoley В. В., Гусаров Е. Е., Клинский А. В. и др. Стойкие органические загрязнители: Пути решения проблемы. — СПб: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2002. — 363 с
3. Wania F., Mackay D. Tracking the distribution of persistent organic pollutants // Environ. Sci. Technol. — 1996. — Vol. 30. — С. 390А–396А.
4. Climate change and POPs: predicting the impacts // Report of UNEP/AMAP expert group. Secretariat of the Stockholm Convention. — Geneva, 2011. — 62 p.
5. Мелешко В. П., Катцов В. М., Говоркова В. А. и др. Климат России в XXI веке. Ч. 3: Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана СМIP3 // Метеорол. и гидрол. — 2008. — № 9. — С. 5–21.
6. Guidance of the Global monitoring plan for persistent organic pollutants. Secretariat of the Stockholm Convention. — Geneva, 2007. — 146 p.
7. Коноплев А. В., Никитин В. А., Самсонов Д. П. и др. Полихлорированные бифенилы и хлорорганические пестициды в атмосфере дальневосточной российской Арктики // Метеорол. и гидрол. — 2005. — № 7. — С. 38–44.
8. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2008 г. / Под ред. Ю. А. Израэля, А. В. Цыбань, Г. М. Черногаевой и др. — М.: Росгидромет, 2009. — 182 с.
9. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2009 г. / Под ред. Ю. А. Израэля, Г. М. Черногаевой, В. И. Егорова и др. — М.: Росгидромет, 2009. — 177 с.
10. Shoeb M., Harner T. Characterization and comparison of three passive air samplers for persistent organic pollutants // Environ. Sci. Technol. — 2002. — Vol. 36. — P. 4142–4151.
11. Mamontova E. A., Kuzmin M. I., Tarasova E. N., Khomutova M. Yu. The investigation of PCBs and OCPs in air in the Irkutsk Region (Russia) using passive air sampling // Вестн. Казан. науч. ун-та. Сер. хим. — 2010. — № 4. — С. 209–213.
12. Pozo K., Harner T., Wania F. et al. Toward a global network for persistent organic pollutants in air: results from the GAPS study // Environ. Sci. Technol. — 2006. — Vol. 40. — P. 4867–4873.
13. Jaward F. M., Zhang G., Jae Jak Nam et al. Passive air sampling of polychlorinated biphenyls, organochlorine compounds, and polybrominated diphenyl ethers across Asia // Environ. Sci. Technol. — 2005. — Vol. 39. — P. 8638–8645.
14. Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды. — М.: Федер. центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. — 79 с. (ГН 1.2.1323-03.)
15. Jaward F. M., Farrar N. J., Harner T. et al. Passive air sampling of PCBs, PBDEs, and organochlorine pesticides across Europe // Environ. Sci. Technol. — 2004. — Vol. 38. — P. 34–41.
16. Gouin T., Harner T., Blanchard P., Mackay D. Passive and active air samplers as complementary methods for investigating persistent organic pollutants in the Great Lakes Basin // Environ. Sci. Technol. — 2005. — Vol. 39. — P. 9115–9122.

17. **Pozo K., Harner T., Shoeib M. et al.** Passive-sampler derived air concentrations of persistent organic pollutants on a north-south transect in Chile // *Environ. Sci. Technol.* — 2004. — Vol. 38. — P. 6529–6537.
18. **Zhang G., Chakraborty P., Li J. et al.** Passive atmospheric sampling of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, and polybrominated diphenyl ethers in urban, rural, and wetland sited along the coastal length of India // *Environ. Sci. Technol.* — 2008. — Vol. 42. — P. 8218–8223.
19. **Сурнина Н. Н., Анохин Ю. А., Кирюхин В. П., Митрошков А. В.** Загрязнение воздушного бассейна Приангарья и Прибайкалья полихлорированными бифенилами // *Мониторинг состояния озера Байкал.* — Л.: Гидрометеоздат, 1991. — С. 54–59.
20. **McConnell L. L., Kucklick J. R., Bidleman T. F. et al.** Air-water gas exchange of organochlorine compounds in Lake Baikal, Russia // *Environ. Sci. Technol.* — 1996. — Vol. 30. — P. 2975–2983.
21. **Liu X., Zhang G., Li J. et al.** Seasonal patterns and current sources of DDTs, chlordanes, hexachlorobenzene, and endosulfan in the atmosphere of 37 Chinese cities // *Environ. Sci. Technol.* — 2009. — Vol. 43. — P. 1316–1321.
22. **Фёдоров Л. А., Яблоков А. В.** Пестициды — токсический удар по биосфере и человеку. — М.: Наука, 1999. — 462 с.
23. **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 // *Environ. Sci. Technol.* — 1992. — Vol. 26. — P. 2012–2017.

*Поступила в редакцию 3 февраля 2012 г.*