ГЛАВА 13

СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА (СОЗ) В ОРГАНИЗМЕ ЖИТЕЛЕЙ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

***В.Ю. Цыганков^{1,2}, М.Д. Боярова¹, М.М. Донец¹,
Ю.П. Гумовская¹, А.Н. Гумовский¹, И.П. Коваль¹,
Н.К. Христофорова², П.Ф. Кику¹, В.В. Усов¹***

Национальные программы мониторинга стойких органических загрязняющих веществ (СОЗ) в организме человека осуществляются в разных странах. В настоящее время в России мониторинг проводится в отдельных

¹ Школа биомедицины, Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), 690922, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. E-mail: tsig_90@mail.ru.

² Школа естественных наук, Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), 690922, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10.

¹ School of Biomedicine, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island Vladivostok, Russia, 690922. E-mail: tsig_90@mail.ru.

² School of School of Natural Sciences, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island Vladivostok, Russia, 690922.

Для цитирования: Цыганков В.Ю., Боярова М.Д., Донец М.М., Гумовская Ю.П., Гумовский А.Н., Коваль И.П., Христофорова Н.К., Кику П.Ф., Усов В.В. Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) в организме жителей прибрежных районов Дальнего Востока России // Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) в Дальневосточном регионе: моря, организмы, человек : монография / В.Ю. Цыганков, М.М. Донец, Н.К. Христофорова [и др.] ; науч. ред. В.Ю. Цыганков. – Владивосток : Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2020. – С. 317–338. – <https://doi.org/10.24866/7444-4891-2/317-338>.

For citing: Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D., Donets M.M., Gumovskaya Yu.P., Gumovskiy A.N., Koval I.P., Khristoforova N.K., Kiku P.F., Usov V.V. Persistent organic pollutants (POPs) in the body of residents of the Russian Far East coastal regions // Persistent organic pollutants (POPs) in the Far Eastern Region: Seas, Organisms, Human : monograph / V.Yu. Tsygankov, M.M. Donets, N.K. Khristoforova [et al.] ; ed. by V.Yu. Tsygankov. – Vladivostok : Publishing House of the Far Eastern Federal University, 2020. – P. 317–338. – <https://doi.org/10.24866/7444-4891-2/317-338>.

регионах. По Дальнему Востоку России опубликованы только предварительные данные о накоплении СОЗ в организме человека. В главе показаны результаты исследования содержания СОЗ в крови и грудном молоке жителей Дальнего Востока России.

Ключевые слова: СОЗ; биомониторинг; кровь; грудное молоко; жители Дальнего Востока.

CHAPTER 13. Persistent organic pollutants (POPs) in the body of residents of the Russian Far East coastal regions

*V.Yu. Tsygankov^{1,2}, M.D. Boyarova¹, M.M. Donets¹,
Yu.P. Gumovskaya¹, A.N. Gumovskiy¹, I.P. Koval¹,
N.K. Khristoforova^{1,3}, P.F. Kiku¹, V.V. Usov¹*

National monitoring programs for persistent organic pollutants (POPs) in humans are implemented in different countries. At present, in Russia, monitoring is carried out in some regions. For the Russian Far East, only preliminary data on the accumulation of POPs in the human body have been published. In the chapter, the results of a study of the content of POPs in the blood and breast milk of residents of the Russian Far East are shown.

Keywords: POPs; biomonitoring; blood; breast milk; residents of the Russian Far East.

Проблема накопления СОЗ в организме человека весьма актуальна, поскольку эти вещества обладают потенциальными тератогенными, канцерогенными, гормональными, неврологическими и иммунологическими свойствами [6, 15, 31]. Основным источником поступления поллютантов в организм человека – пища. Предположительно около 90 % общего загрязнения происходит через пищу и только 10 % – за счет ингаляции и кожной абсорбции [35].

Несмотря на многочисленные работы по обнаружению токсикантов в тканях и органах человека, механизмы поступления и уровни аккумуляции загрязнителей, а также их воздействие остаются недостаточно изученными или находятся на уровне теорий [11, 12, 14, 41, 42]. Хотя на использование этих соединений введены запреты и ограничения в большинстве стран, из-за стойкости и сохранения в биосфере их негативное действие на организмы продолжается.

Юг Дальнего Востока России – сельскохозяйственно развитая территория, где хлорорганические пестициды использовали на полях до их запрета. Помимо этого, регион соседствует с Китаем, где данные вещества до сих пор продолжают применяться для борьбы с вредителями сельского хозяйства и переносчиками болезней.

Национальные программы мониторинга ХОС в организме человека осуществляются в разных странах, например, Чешской республике [11, 12], Республике Корея [14]. В России аналогичные исследования также проводятся [3, 4, 7, 27, 28].

13.1. СОЗ в крови жителей Дальнего Востока

Для выявления воздействия факторов среды на человека часто из биологических жидкостей рассматриваются моча и кровь, которые обеспечивают гомеостатические функции организма [44].

Пробы отбирались в 2019 г. Возраст жителей – от 18 до 30 лет. Число мужчин и женщин – 35 и 41, соответственно. Содержание липидов в крови варьировало от 0,03 до 0,33% (среднее значение – $0,17 \pm 0,06\%$).

Хлорорганические соединения были обнаружены у 63 человек, то есть почти в 83% выборки. Найдены α -, β -, γ -, δ -ГХЦГ, ДДЕ и 52 ПХБ в 41, 92, 60, 52, 27, 40% выборки, соответственно.

Суммарные концентрации СОЗ варьировали от 56 до 2475,8 нг/г липидов (среднее значение – $886,4 \pm 572$ нг/г липидов).

Суммарные концентрации ГХЦГ находились в пределах 16,9-1130,2 нг/г липидов (среднее значение – $414,8 \pm 282$ нг/г липидов). Уровни α -, β -, γ - и δ -ГХЦГ варьировали от 9,9 до 1015,7 (среднее – 375 ± 234), от 7 до

494,8 (среднее – $121,8 \pm 109$), от 13,8 до 292,4 (среднее – $99,1 \pm 72$) и от 19,4 до 468,2 (среднее – $143,1 \pm 98$), соответственно (рис. 13.1).

Содержание и распределение отдельных изомеров ГХЦГ указывает на давность загрязнения (длительная циркуляция) ($\alpha + \beta$), а также на активный распад линдана ($\gamma < \delta$) (рис. 13.2).

Рис. 13.1. Средние концентрации индивидуальных СОЗ в крови жителей Приморского края, нг/г липидов

Рис. 13.2. Соотношение изомеров ГХЦГ в крови жителей Приморского края

Как видно на рис. 13.2, сумма α - и β -изомеров достигает почти 70%, т.е. этот пестицид давно циркулирует в экосистеме и распался до метаболитов уже на 2/3.

Из метаболитов ДДТ в крови обнаружен только ДДЕ, диапазон концентраций которого 1,9–213,1 (среднее – 92 ± 68 нг/г липидов). Этот факт указывает на отсутствие свежего загрязнения и распад исходного ДДТ. Из конгенов ПХБ обнаружен 52 ПХБ, концентрации которого варьировали от 28,9 до 483,4 (среднее – $110,9 \pm 122$ нг/г липидов). Этот конгенер является водорастворимым (поэтому его наличие в крови ожидаемо) и позже будет выведен из организма с мочой. Однако в нашем начальном изучении содержания СОЗ в организме человека выявлено, что с мочой из организма выводятся всего лишь пикограммы токсикантов, остальное количество «запасается» в жировых тканях [39].

Концентрации хлорорганических соединений, являющихся липофильными, имеют связь с содержанием липидов (рис. 13.3). Хотя зависимость статистически не подтверждается, тем не менее прослеживается общая тенденция увеличения концентрации СОЗ с содержанием липидов.

Статистически достоверных возрастных и половых различий в накоплении СОЗ не выявлено, вероятно это связано с тем, что разницы в возрасте на 10 лет не достаточно для оценки временных трендов накопления СОЗ (рис. 13.4).

Гексахлорциклопексан в середине XX века применяли в виде технической смеси, где доли его изомеров составляли: α – 55–70 %, β – 5–14 %, γ – 9–13 % [1]. Его использование в Китае, Индии и других странах продолжается из-за отсутствия экономически рентабельных и экологически чистых альтернативных методов борьбы с насекомыми – переносчиками инфекций [14]. С 1990 года производство пестицидов в Китае увеличивалось и сейчас составляет $2,2 \cdot 10^6$ т/год [22]. Запрет на использование ДДТ в российском сельском хозяйстве был введен в 1971 году, ГХЦГ – в 1990-м [3, 4].

Полученные данные позволили убедиться в отсутствии экологического риска для здоровья человека в регионе на основе сравнения с пороговыми значениями ХОС в крови по международным стандартам: концентрация ДДТ в плазме – 200 мкг/л [15]; ГХЦГ и ДДТ в цельной крови – от 0,3 до 0,9 мкг/л и от 1,5 до 31 мкг/л соответственно [19].

Рис. 13.3. Зависимость концентрации индивидуальных СОЗ (ось X – нг/г липидов) от содержания липидов (ось Y – %) в крови жителей Приморского края

Рис. 13.4. Средние концентрации СОЗ в крови жителей Приморского края по полу (А) и возрасту (Б), нг/г липидов

Сравнение полученных нами данных (табл. 13.1), пересчитанных на нг/г липидов (диапазон концентраций – от 56 до 2476; средняя концентрация ХОС – 886; медиана – 780 нг/г липидов), с результатами других авторов показало, что меньшее содержание ХОС в крови жителей юга Дальнего Востока России, однако, по медиане больше, чем в Великобритании и Японии.

Таблица 13.1

**Концентрации хлорорганических соединений
в крови жителей разных регионов мира, нг/г липидов**

Регион	Диапазон	Среднее значение	Медиана	Источник
Приморский край, Россия	56–2476	886	780	Эта работа
Мексика	1600–182600	23100	13800	[41]
Румыния	446–47120	–	–	[16]
Испания	–	6187	4123	[34]
Великобритания	10–2720	–	115	[36]
Швейцария	–	887	–	[20]
Япония	–	151	210	[18]

Таким образом, концентрации СОЗ в крови жителей присутствуют и обнаруживаются до 83% в выборке. Вероятно, это связано с развивающимися странами, которые продолжают использовать СОЗ ввиду отсутствия более безопасных аналогов.

13.2. Грудное молоко

Согласно рекомендациям ВОЗ, одним из наиболее достоверных индикаторов воздействия СОЗ на здоровье человека является определение их содержания в крови и женском молоке [5].

Приморский край. Проведено эколого-аналитическое изучение образцов грудного молока у жительниц юга Дальнего Востока России (Приморский край) – у 29 женщин в 2017 г. и 37 – в 2018 г., которое выявило 100% наличие СОЗ в молоке. Исследование является этапом регулярного мониторинга стойких органических загрязняющих веществ в связи с Планом выполнения Российской Федерацией обязательств, предусмотренных Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях (№ 529 от 03.10.2017 «Об утверждении Плана выполнения Российской Федерацией обязательств, предусмотренных Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях»).

Женщины были в возрасте от 20 до 49 лет. Количество женщин в возрастных группах 20–29, 30–39, 40–49 лет в 2017 году составило 10, 11, 5 человек, в 3 пробах возраст матери неизвестен, и в 2018 году соотношение возрастных групп составило 10, 25, 2 чел.

Содержание ХОС (Σ ГХЦГ+ Σ ДДТ+ Σ ПХБ) в пробах варьировало от 23 до 878,3 (среднее значение – 151,4) нг/г липидов (табл. 13.2). Диапазоны концентраций ХОП (Σ ГХЦГ+ Σ ДДТ) и ПХБ составили 2,8–291 и 3,2–720 нг/г липидов, соответственно. Средние значения ХОП и ПХБ – 80,1 и 74,9 нг/г липидов, соответственно.

Суммарное содержание хлорорганических пестицидов – это сумма изомеров ГХЦГ, ДДТ и его метаболитов. Концентраций Σ ГХЦГ и Σ ДДТ находились в диапазонах 2,84–291 и 1,1–83 нг/г липидов, соответственно. Средние значения Σ ГХЦГ и Σ ДДТ составили 76 и 12,9 нг/г липидов, соответственно. Все изомеры ГХЦГ были обнаружены в грудном молоке. Наиболее часто определяемая форма – β -ГХЦГ. Концентрации α -, β - и γ -ГХЦГ находились в диапазоне 0,3–6,6, 2,8–290 и 0,8–26 нг/г липидов, соответственно. ДДТ и его метаболиты были ниже предела обнаружения в 50% проб. В основном определялся *o,p'* и *p,p'*-ДДЕ (в 29 и 23% проб, соответственно). Их концентрации варьировали от 0,7 до 22 и 0,5 до 29 нг/г липидов, соответственно. *o,p'*-ДДТ, *o,p'*-ДДД и *p,p'*-ДДД обнаружен в двух пробах и их концентрации составили 3,62 и 1,1 нг/г, 2,2 и 1,4 нг/г, 34,4 и 25,7 нг/г липидов, соответственно. В 11% проб выявлен *p,p'*-ДДТ (1,8–27,6 нг/г).

Таблица 13.2

Содержание хлорорганических соединений (ХОС)

в грудном молоке жительниц Приморского края, нг/г липидов

Токсикант	2017			2018		
	Возрастные группы			Возрастные группы		
	20-29	30-39	40-49	20-29	30-39	40-49
α -ГХЦГ	—	—	—	0,6 $\pm$ 0,1	1,2 $\pm$ 0,2	0,7 $\pm$ 0,03
β -ГХЦГ	36,3 $\pm$ 15,4	66,6 $\pm$ 14,2	47,4 $\pm$ 6,6	62,2 $\pm$ 13,5	91,5 $\pm$ 11,7	114,1 $\pm$ 72,2
γ -ГХЦГ	—	—	—	7,9 $\pm$ 2,2	7,6 $\pm$ 2,2	—
<i>o,p'</i> -ДДТ	—	2,3 $\pm$ 0,2	—	—	—	—
<i>p,p'</i> -ДДТ	10,2 $\pm$ 2,2	2,2 $\pm$ 0,01	—	—	—	—
<i>o,p'</i> -ДДД	—	—	—	—	—	—
<i>p,p'</i> -ДДД	—	—	—	—	—	—
<i>o,p'</i> -ДДЕ	—	—	—	9,3 $\pm$ 0,5	8,9 $\pm$ 1,5	—
<i>p,p'</i> -ДДЕ	17,7 $\pm$ 2,3	3,5 $\pm$ 0,2	—	—	9,1 $\pm$ 2,1	—
ПХБ 28	—	2 $\pm$ 0,2	—	14,5 $\pm$ 6,0	4,8 $\pm$ 1,1	—
ПХБ 52	47,2 $\pm$ 6,6	16,8 $\pm$ 5,4	11,9 $\pm$ 4,1	26,4 $\pm$ 11,4	12,3 $\pm$ 3,2	12,6 $\pm$ 3,3
ПХБ 101	12,8 $\pm$ 3,3	9,7 $\pm$ 3,9	—	3,05 $\pm$ 0,8	11,9 $\pm$ 2,2	—
ПХБ 118	49,9 $\pm$ 24,4	23,6 $\pm$ 5,1	20,8 $\pm$ 8,1	6,7 $\pm$ 0,8	9,1 $\pm$ 1,2	11,2 $\pm$ 2,1
ПХБ 138	48,3 $\pm$ 22,5	38,1 $\pm$ 15,2	15,2 $\pm$ 2,8	7,9 $\pm$ 1,4	15,5 $\pm$ 2,5	26,5 $\pm$ 14,2
ПХБ 143	—	—	—	—	—	—
ПХБ 153	49,2 $\pm$ 21,5	28,8 $\pm$ 6,4	32,7 $\pm$ 11,2	7,6 $\pm$ 1,1	16,7 $\pm$ 2,4	23,3 $\pm$ 10,4
ПХБ 155	25,0 $\pm$ 9,8	2,3 $\pm$ 0,03	—	16,8 $\pm$ 4,8	25,6 $\pm$ 12,5	—
ПХБ 180	—	12,8 $\pm$ 3,9	—	—	12,9 $\pm$ 2,5	—
ПХБ 207	—	—	—	—	—	—

«—» — ниже предела обнаружения

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) обнаружены практически во всех пробах. Концентрации 143 и 207 ПХБ были ниже предела детектирования. Содержание низкохлорированных 28 и 52 ПХБ (молекулы которых содержат до 4 атомов хлора) находились в диапазонах 1-35 и 1,8-130 нг/г липидов, соответственно. Диапазоны концентраций высокохлорированных 101, 118, 138, 153, 155 и 180 ПХБ составили 1,8–95, 2,5–253, 2,9–169, 3,4–163, 2,3–49 и 7–19 нг/г липидов, соответственно.

В 2017 году было исследовано 29 проб грудного молока. Содержание ХОС варьировало от 22,6 до 878,3 (среднее – 144,1) нг/г липидов. Диапазоны концентраций ХОП и ПХБ составили 2,8–158 и 16,3–720,3 нг/г липидов, соответственно; средние концентрации ХОП и ПХБ – 53,8 и 97,4 нг/г липидов, соответственно. Концентрации Σ ГХЦГ и Σ ДДТ находились в диапазонах 2,8–158 и 1,4–83,4 нг/г; средние значения Σ ГХЦГ и Σ ДДТ – 51 и 17,9 нг/г липидов.

В 2018 году было исследовано 37 проб грудного молока. Содержание ХОС в пробах находилось в пределах от 23,7 до 412,5 (среднее – 157,11) нг/г липидов. Диапазоны концентраций ХОП и ПХБ составили 10,8–291,1 и 3,2–177,5 нг/г липидов, соответственно; средние концентрации ХОП и ПХБ – 99,2 и 57,89 нг/г липидов, соответственно. Концентрации Σ ГХЦГ и Σ ДДТ находились в диапазонах 10,8–291,1 и 1,1–22,1 нг/г липидов; средние – 92,9 и 10,6 нг/г липидов, соответственно.

При изучении корреляции между концентрациями ХОС и липидов зависимости не выявлено. Общее содержание ХОП в 2018 г. выше, чем в 2017 г. ($p=0,035$). ГХЦГ, как самый определяемый среди искомым соединений компонент, в 2018 г был обнаружен во всех пробах, а в 2017 году – только в 84% проб. Концентрации ГХЦГ и ДДТ в 2018 были значительно выше, чем в 2017 г. ($p=0,016$ и $p=0,008$) (рис. 13.5, 13.6). Содержание ГХЦГ и ДДТ в 2018 выше таковых в 2017 г. ($p=0,008$ и $p=0,001$). Этот факт указывает на возможное их применение этих ХОС на территории Дальнего Востока, а также в Южном Китае и Индии.

Рис. 13.5. Среднее содержание изомеров гексахлорциклогексана (ГХЦГ) в грудном молоке, нг/г липидов

По данным Министерства здравоохранения Российской Федерации, в настоящее время значительные объемы ДДТ хранятся на территориях Приморского края, Хабаровского края и на других территориях Азиатской части России. По результатам наших исследований видно, что суммарная концентрация ДДТ уменьшается. Понижение содержания ДДТ и его мета-

болитов указывает на уменьшение или неиспользование поллютантов этой группы в сельском хозяйстве.

Рис. 13.6. Общее содержание ГХЦГ, ДДТ и ПХБ (медиана) в грудном молоке в 2017 и 2018 годах, нг/г липидов

Суммарная концентрация ПХБ в 2018 году была ниже таковой в 2017 г. (рис. 13.7). Это связано, вероятно, с выведением из эксплуатации ПХБ-содержащего оборудования и уменьшением использования таких технологий утилизации, как сжигание бытовых и промышленных отходов. Также, из результатов видно, что 30% общей концентрации ПХБ занимают низкохлорированные конгенеры (рис. 13.7). Как известно, уменьшение растворимости в воде происходит с увеличением хлора [26]. Соответственно, низкохлорированные ПХБ быстрее выводятся мочевой системой. Высокохлорированные (тяжелые) ПХБ аккумулируются липидами организма и, практически, не выводятся с мочой. Это свойство

указывает на передачу соединений с молоком матери к ребенку, увеличивая возможные риски для здоровья.

Рис. 13.7. Концентрации (нг/г липидов) и соотношение (%) низко- и высокохлорированных индикаторных ПХБ

Чукотский АО. В 2019 году проведено эколого-аналитическое исследование образцов грудного молока 26 женщин, проживающих в Чукотском автономном округе (ЧАО). Возраст женщин от 15 до 44 лет. Количество женщин в возрастных группах «до 30 лет», «после 30 лет» составило 15 и 10 человек, соответственно. В одном образце возраст матери не известен.

Хлорорганические соединения (ХОС) обнаружены во всех образцах. Суммарное содержание ХОС (Σ ГХЦГ+ Σ ДДТ+ Σ ПХБ) варьировало от 12,9 до 620,6 (среднее – $110,1 \pm 142,7$) нг/г липидов. Диапазоны концентраций Σ ХОП (Σ ГХЦГ+ Σ ДДТ) и Σ ПХБ составили 7,1–275,4 и 1,1–430,8, средние – $41,3 \pm 51,9$ и $74,1 \pm 112,4$ нг/г липидов, соответственно.

Уровни Σ ГХЦГ и Σ ДДТ варьировали от 4,8 до 162,3 (среднее – $31,1 \pm 30,5$) и от 1,5 до 113,1 (среднее – $13,7 \pm 25,8$) нг/г липидов, соответственно. В грудном молоке обнаружены α -, β -, γ - и δ -ГХЦГ. Среди них наиболее

часто встречалась β -форма, обнаруженная во всех исследованных образцах, наименее – α -ГХЦГ. Концентрации α -, β -, γ - и δ -изомеров ГХЦГ варьировали в пределах 9,2–32,2, 1,3–162,3, 1,4–11,8 и 0,8–6,8 нг/г липидов, соответственно. Средние уровни составили для α -ГХЦГ – $20,5 \pm 9,6$, β -ГХЦГ – $21,5 \pm 30,6$, γ -ГХЦГ – $4,2 \pm 2,8$ и δ -ГХЦГ – $2,4 \pm 1,7$ нг/г липидов. Среди метаболитов ДДТ не обнаружены p,p' -ДДТ, o,p' -ДДД и p,p' -ДДД. o,p' -ДДТ и o,p' -ДДЕ обнаружены в двух образцах с концентрациями 33,8, 56,0 и 3,0, 9,4 нг/г липидов, соответственно. Наиболее часто встречался p,p' -ДДЕ, уровни которого варьировали от 1,5 до 57,1 (среднее значение – $9,8 \pm 12,9$) нг/г липидов.

Полихлорированные бифенилы обнаружены практически во всех образцах. 155, 101 и 207 конгенеры ПХБ были ниже пределов обнаружения во всех исследованных пробах. ПХБ 28 и ПХБ 143 выявлены в двух образцах с концентрациями 3,5, 30,8 и 3,6, 45,0 нг/г липидов, соответственно; ПХБ 180 в трех – 26,8, 60,2 и 75,0 нг/г липидов. Диапазоны ПХБ 52, ПХБ 118, ПХБ 153 и ПХБ 138 составили 1,1–9,8 (среднее – $5,2 \pm 2,8$), 3,3–74,4 (среднее – $18,8 \pm 23,6$), 4,3–203,5 (среднее – $43,6 \pm 58,4$) и 4,4–84,1 (среднее – $24,1 \pm 26,1$) нг/г липидов, соответственно.

Концентрации Σ ХОС в грудном молоке женщин до 30 лет находились в пределах 12,9–459,2 (среднее – $99,8 \pm 124,9$) нг/г липидов. Уровни Σ ХОП и Σ ПХБ варьировали от 9,9 до 51,4 ($28,8 \pm 14,8$) и от 1,1 до 430,8 ($81,1 \pm 128,9$) нг/г липидов, соответственно. Содержание Σ ГХЦГ и Σ ДДТ находилось в пределах 5,2–52,1 ($24,8 \pm 14,6$) и 1,5–11,6 ($5,4 \pm 3,1$) нг/г липидов, соответственно.

Содержание Σ ХОС в грудном молоке женщин старше 30 лет варьировало от 221, до 620,6 ($123,8 \pm 168,4$) нг/г липидов. Концентрации Σ ХОП и Σ ПХБ находились в диапазонах от 7,1 до 275,4 ($58,0 \pm 76,0$) и от 9,4 до 345,2 ($65,8 \pm 94,5$) нг/г липидов. Уровни Σ ГХЦГ варьировали в пределах 4,8–162,3 ($39,4 \pm 43,2$) нг/г липидов, Σ ДДТ – 2,3–113,1 ($24,8 \pm 37,6$) нг/г липидов.

При статистическом анализе корреляций между концентрациями липидов и ХОС в грудном молоке не обнаружено. Сравнение уровней поллютантов в образцах разных возрастных групп показало достоверные различия только между значениями β -ГХЦГ (рис. 13.8), содержание которого достоверно выше у женщин старше 30 лет ($p=0,046$).

Высокие уровни β -ГХЦГ у женщин старше 30 по сравнению с более молодыми (рис 13.8, 13.9) могут быть связаны с деградацией линдана в организме с возрастом. Среди метаболитов ДДТ наиболее часто обнаруживался p,p' -ДДЕ, что говорит о давности поступления исходного поллю-

танта в среду и его деградации. Более высокие уровни p,p' -ДДЕ в грудном молоке женщин старше 30 лет (рис. 13.8) (статистически незначимо), вероятнее всего, указывает на биомагнификацию и распад ДДТ.

Рис. 13.8. Среднее содержание (медиана) изомеров ГХЦГ и ДДЕ в грудном молоке женщин ЧАО, нг/г липидов

Среди конгенов ПХБ доминировали высокохлорированные ПХБ 118, ПХБ 153 и ПХБ 138 (рис. 13.10, 13.11). Уровни ПХБ 52 в грудном молоке сопоставимы у женщин обеих возрастных групп. ПХБ 143 обнаружен только в грудном молоке более молодых женщин. Средние уровни ПХБ 153 и ПХБ 138 имеют тенденцию к увеличению у женщин до 30 лет. (статистически не значимо).

Более высокие концентрации ПХБ в грудном молоке более молодых женщин могут быть связаны с количеством родов до момента исследования. Известно, что основными путями экскреции СОЗ из организма женщин является перенос через плаценту (переход токсиканта от матери к плоду) и выведение с грудным молоком в период лактации [32, 33]. Вероятнее всего, у женщин более зрелого возраста роды были не первыми, в связи с чем концентрация полихлорированных бифенилов в грудном молоке меньше.

Рис. 13.9. Распределение ХОП
в грудном молоке женщин двух возрастных групп, %

Рис. 13.10. Распределение обнаруженных конгенов ПХБ
в грудном молоке женщин двух возрастных групп, %

Рис. 13.11. Средние концентрации (медианы) конгенов ПХБ в грудном молоке женщин ЧАО, нг/г липидов

При сравнении данных с результатами исследований СОЗ авторов России и других стран, видно (табл. 13.3), что сумма Σ ГХЦГ в грудном молоке жительниц Чукотского автономного округа меньше таковых в Приморском крае, Республики Бурятия, Индии, Вьетнаме, Японии, Китае, и выше, чем в Иркутской области, Хорватии, Чехии, Норвегии, Танзании, Корее и Тайване. Концентрации ГХЦГ в ЧАО сходны с Пакистаном. Уровни Σ ДДТ сопоставимы в ЧАО, Приморском крае, Хорватии и Тайване, где уровни поллютанта не превышают 20 нг/г липидов.

Концентрации ГХЦГ практически во всех странах меньше, чем ДДТ, в то время, как на Дальнем Востоке России ситуация обратная. В случае Приморского края (развитая сельскохозяйственная территория, где ранее активно применялись пестициды) это может быть связано с большим использованием ГХЦГ в сельском хозяйстве и аккумуляцией поллютантов в продуктах питания растительного и животного происхождения в результате общей биомагнификации ксенобиотиков [38, 40].

Чукотский автономный округ – малоразвитый в аграрном отношении регион из-за суровых природных условий. В связи с этим применение здесь средств защиты растений не носило массового характера. Однако в работе Дударева [2] указываются данные региональных ветеринарных служб, кото-

рые свидетельствуют об интенсивном использовании в 1960–70-х гг. в оленеводческих хозяйствах препаратов, содержащих ХОП (в частности – ДДТ и ГХЦГ), для опрыскивания оленей для защиты от овода. Достоверные результаты о содержании в них СОЗ отсутствуют, однако имеющаяся информация позволяет предположить сопутствующее загрязнение почв, что до сих пор отражается на местных жителях этого региона. Кроме того, низкая температура значительно уменьшает интенсивность испарения и действует для СОЗ как «холодная ловушка», что приводит к концентрированию летучих и полуметучих поллютантов в северных широта [2]. Очевидно, в связи с этим ХОП до сих пор обнаруживаются в организме местного населения.

Таблица 13.3

**Содержание СОЗ в грудном молоке из регионов России
и других стран (нг/г липидов)**

Регион	Год	ΣГХЦГ	ΣДДТ	ΣПХБ _{инд} ¹	ΣПХБ _{общ}	Источник
Чукотский АО	2019	31,1	13,7	59,6	74,1	Эта работа
Приморье	2017-2018	76	12,9	19,9	77,8	
Иркутская область	1997-2009	4,3	534	255,5	409,3	[27]
Республика Бурятия	2003-2004	810	660	–	240	[37]
Хорватия	2011-2014	3,4	16,8	25,3	66	[23]
Чехия	2010	11 ³	219,3 ²	280,5	280,5	[8]
	2011	9,6 ³	232,4 ²	253	253	
Норвегия	2002-2009	12,3 ⁵	167 ²	–	541,6	[25]
Танзания	2012	0,9	135	4,5	4,5	[29]
Индия	2015-2016	46,6	490	–	127,3	[9]
	2011-2012	199,6 ³	1914,2 ⁴	–	–	[10]
Корея	2011-2012	19,5	104,2	–	14,4	[24]
Тайвань	2013-2016	0,51	9,8 ⁴	–	–	[13]
Пакистан	2015	26,7	83,8	–	–	[43]
Вьетнам	2007-2008	140 ⁵	1200	–	84	[21]
Япония		126	172	–	31	
Япония	2008-2009	63	–	–	112	[17]
Китай	2007-2008	688	–	–	46	

¹ индикаторные ПХБ – 28, 52, 101, 138, 153, 180 ПХБ; ² только *p,p'*-ДДТ и *p,p'*-ДДЕ; ³ только β- и γ-ГХЦГ; ⁴ только Σ*p,p'*-ДДТ; ⁵ только β-ГХЦГ

Концентрации ПХБ в грудном молоке жительниц ЧАО находятся практически на одном уровне таковыми у женщин Приморского края, Хорватии и некоторых странах азиатско-тихоокеанского региона, в то время как в европейской части России и Европе содержание этих поллютантов выше. При этом в ЧАО индикаторные ПХБ составляют, в среднем, 80% от общего количества ПХБ, тогда как в Приморском крае – в среднем 26%, что говорит

о значительном вкладе техногенных источников поступления ПХБ в окружающую среду в ЧАО. Вероятнее всего, такое соотношение указывает на воздействие активного судоходства и локальное влияние действующих трансформаторов, конденсаторов, гидравлических систем и прочего ПХБ-использующего оборудования. Еще одним серьезным источником полихлорированных бифенилов в северной части Дальнего Востока мог быть так называемый «северный завоз» горюче-смазочных материалов и иных технических жидкостей, превративший близлежащие территории многих поселков в свалки брошенной бочкотары, в содержимом которой присутствуют, в частности, примеси ПХБ, попадающие в почвы, грунтовые воды, реки и моря [2]. Из-за различной токсичности отдельных конгенов ПХБ риски для здоровья человека от их воздействия могут изменяться в зависимости от концентрации и характера загрязнения окружающей среды. Особенно восприимчивыми к воздействию СОЗ являются младенцы, основой питания которых, в норме, является грудное молоко, что указывает на необходимость продолжения экологического биомониторинга поллютантов.

13.3. Список литературы

1. Брагинский, Л.П. Миграция стойких пестицидов в пресноводных экосистемах / Л.П. Брагинский, Ф.Я. Комаровский, Ю.К. Пищолка, О.В. Маслова // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: труды всесоюзного совещания. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – С. 226–231.
2. Дударев, А.А. Персистентные полихлорированные углеводороды и тяжелые металлы в арктической биосфере: основные закономерности экспозиции репродуктивное здоровье коренных жителей / А.А. Дударев // Биосфера. – 2009. – Т. 1. – № 2. – С. 186–202.
3. Лыжина, А.В. Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области / А.В. Лыжина, Р.В. Бузинов, Т.Н. Унгурияну, А.Б. Гудков // Экология человека. – 2012. – № 12. – С. 3–9.
4. Мамонтова, Е.А. Содержание стойких органических загрязнителей в грудном молоке жительниц Иркутской области / Е.А. Мамонтова,

Е.Н. Тарасова, М.И. Кузьмин [и др.] // Гигиена и санитария. – 2010. – № 1. – С. 35–38.

5. Ревич, Б.А. Инновационные эколого-эпидемиологические технологии оценки влияния диоксинов на здоровье детей / Б.А. Ревич, О.В. Сергеев, А.А. Шелепчиков // Экология человека. – 2012. – № 8. – С. 42–49.

6. Чащин, В.П. Социально-экономические и поведенческие факторы риска нарушений здоровья среди коренного населения Крайнего Севера / В.П. Чащин, А.А. Ковшов, А.Б. Гудков, Б.А. Моргунов // Экология человека. – 2016. – № 6. – С. 3–8.

7. Чащин, М.В. Основные тенденции изменения концентраций стойких токсичных веществ в крови коренного населения Арктики / М.В. Чащин, В.П. Чащин, В.Н. Фёдоров [и др.] // Экология человека. – 2012. – № 6. – С. 3–7.

8. Banyiová, K. Long-term time trends in human intake of POPs in the Czech Republic indicate a need for continuous monitoring / K. Banyiová, M. Cerná, O. Mikeš [et al.] // Environment International. – 2017. – V. 108. – P. 1–10.

9. Bawa, P. Persistent Organic Pollutants Residues in Human Breast Milk from Bathinda and Ludhiana Districts of Punjab, India / P. Bawa, J.S. Bedi, J.P.S. Gill [et al.] // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2018. – V. 75. – P. 512–520.

10. Bedi, J.S. Pesticide residues in human breast milk: Risk assessment for infants from Punjab, India / J.S. Bedi, J.P.S. Gill, R.S. Aulakh [et al.] // Science of The Total Environment. – 2013. – V. 463–464. – P. 720–726.

11. Cerná, M. Human biomonitoring in the Czech Republic: An overview / M. Cerná, A. Krsková, M. Čejchanová [et al.] // International Journal of Hygiene and Environmental Health. – 2012. – V. 215. – P. 109–119.

12. Cerná, M. Human biomonitoring system in the Czech Republic / M. Cerná, V. Spěvácková, A. Batáříová [et al.] // International Journal of Hygiene and Environmental Health. – 2007. – V. 210. – P. 495–499.

13. Chen, M.-W. Association between Organochlorine Pesticide Levels in Breast Milk and Their Effects on Female Reproduction in a Taiwanese Population / M.-W. Chen, H. Santos, D. Que [et al.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2018. – V. 15. – P. 931.

14. Choi, W. Exposure to environmental chemicals among Korean adults—updates from the second Korean National Environmental Health Survey (2012–

2014) / W. Choi, S. Kim, Y.-V. Baek [et al.] // International Journal of Hygiene and Environmental Health. – 2017. – V. 220. – P. 29–35.

15. DDT and its derivatives: environmental aspects. – WHO: World Health Organization, 1989. – 98 p.

16. Dirtu, A.C. Organohalogenated pollutants in human serum from Iassy, Romania and their relation with age and gender / A.C. Dirtu, R. Cernat, D. Dragan [et al.] // Environment International. – 2006. – V. 32. – P. 797–803.

17. Fujii, Y. Comparative survey of levels of chlorinated cyclodiene pesticides in breast milk from some cities of China, Korea and Japan / Y. Fujii, Y. Ito, K.H. Harada [et al.] // Chemosphere. – 2012. – V. 89. – P. 452–457.

18. Fukata H. to measure PCBs and organochlorine pesticide concentrations in human umbilical cords for fetal exposure assessment / H. Fukata, M. Omori, H. Osada [et al.] // Environmental Health Perspectives. – 2005. – V. 113. – P. 297–303.

19. GHBC. Aktualisierung der Referenzwerte Für PCB-138, -153, -180 im Vollblut sowie Referenzwerte für HCB, β -HCH und DDE im Vollblut // Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz. – 2003. – V. 46. – P. 161–168.

20. Glynn, A.W. Serum concentrations of organochlorines in men: a search for markers of exposure / A.W. Glynn, A. Wolk, M. Aune [et al.] // Science of the Total Environment. – 2000. – V. 263. – P. 197–208.

21. Haraguchi, K. Levels and regional trends of persistent organochlorines and polybrominated diphenyl ethers in Asian breast milk demonstrate POPs signatures unique to individual countries / K. Haraguchi, A. Koizumi, K. Inoue [et al.] // Environment International. – 2009. – V. 35. – P. 1072–1079.

22. Hu, L.M. Occurrence and distribution of organochlorine pesticides (OCPs) in surface sediments of the Bohai Sea, China / L.M. Hu, G. Zhang, B.H. Zheng [et al.] // Chemosphere. – 2009. – V. 77. – P. 663–672.

23. Jovanović, G. Introducing of modeling techniques in the research of POPs in breast milk – A pilot study / G. Jovanović, S.H. Romanić, A. Stojić [et al.] // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2019. – V. 172. – P. 341–347.

24. Kim, S. Association between maternal exposure to major phthalates, heavy metals, and persistent organic pollutants, and the neurodevelopmental performances of their children at 1 to 2 years of age- CHECK cohort study / S. Kim, S. Eom, H.-J. Kim [et al.] // Science of The Total Environment. – 2018. – V. 624. – P. 377–384.

25. Lenters, V. Early-life exposure to persistent organic pollutants (OCPs, PBDEs, PCBs, PFASs) and attention-deficit/hyperactivity disorder: A multi-pollutant analysis of a Norwegian birth cohort / V. Lenters, N. Iszatt, J. Forns [et al.] // *Environment International*. – 2019. – V. 125. – P. 33–42.
26. Lukyanova, O.N. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in the Bering flounder (*Hippoglossoides robustus*) from the Sea of Okhotsk / O.N. Lukyanova, V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova // *Marine Pollution Bulletin*. – 2018. – V. 137. – P. 152–156.
27. Mamontova, E.A. PCBs and OCPs in human milk in Eastern Siberia, Russia: Levels, temporal trends and infant exposure assessment / E.A. Mamontova, E.N. Tarasova, A.A. Mamontov // *Chemosphere*. – 2017. – V. 178. – P. 239–248.
28. Mamontova, E.A. The influence of soil contamination on the concentrations of PCBs in milk in Siberia / E.A. Mamontova, E.N. Tarasova, A.A. Mamontov [et al.] // *Chemosphere*. – 2007. – V. 67. – P. S71–S78.
29. Muller, M.H.B. Prenatal exposure to persistent organic pollutants in Northern Tanzania and their distribution between breast milk, maternal blood, placenta and cord blood / M.H.B. Muller, A. Polder, O.B. Brynildsrud [et al.] // *Environmental Research*. – 2019. – V. 170. – P. 433–442.
30. Negoita, T.G. Distribution of polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides in soils from the East Antarctic coast / T.G. Negoita, A. Covaci, A. Gheorghe, P. Schepens // *Journal of Environmental Monitoring*. – 2003. – V. 5. – No. 2. – P. 281–286.
31. Nicholson, W.J. Human Health Effects of Polychlorinated Biphenyls / W.J. Nicholson, P.J. Landrigan // *Dioxins and Health* / ed. Schecter A. – Boston, MA: Springer US, 1994. – P. 487–524.
32. Polychlorinated biphenyls and polybrominated biphenyls / IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. – Lyon, France, 2013. – 510 p.
33. Porpora, M. Placental Transfer of Persistent Organic Pollutants: A Preliminary Study on Mother-Newborn Pairs / M. Porpora, R. Lucchini, A. Abballe [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2013. – V. 10. – No. 2. – P. 699–711.
34. Porta, M. Differences in serum concentrations of organochlorine compounds by occupational social class in pancreatic cancer / M. Porta, M.B. de Basea, F.G. Benavides [et al.] // *Environmental Research*. – 2008. – V. 108. – P. 370–379.

35. Tanabe, S. Contamination by Persistent Toxic Substances in the Asia-Pacific Region / S. Tanabe // *Persistent Organic Pollutants in Asia: Sources, Distributions, Transport and Fate.* – A. Li, S. Tanabe, G. Jiang, J.P. Giesy and P.K.S. Lam (Editors). – *Developments in Environmental Science.* – 2007. – V. 7. – P. 773–817.
36. Thomas, G.O. Organohalogen chemicals in human blood from the United Kingdom / G.O. Thomas, M. Wilkinson, S. Hodson [et al.] // *Environmental Pollution.* – 2006. – V. 141. – P. 30–41.
37. Tsydenova, O.V. Organohalogen compounds in human breast milk from Republic of Buryatia, Russia / O.V. Tsydenova, A. Sudaryanto, N. Kajiwara [et al.] // *Environmental Pollution.* – 2007. – V. 146. – P. 225–232.
38. Tsygankov, V.Yu. Bioaccumulation of Persistent Organochlorine Pesticides (OCPs) by Gray Whale and Pacific Walrus from the Western Part of the Bering Sea / V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova, O.N. Lukyanova // *Marine Pollution Bulletin.* – 2015. – V. 99. – P. 235–239.
39. Tsygankov, V.Yu. Hexachlorocyclohexane (HCH) in human blood in the south of the Russian Far East / V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova, P.F. Kiku, M.V. Yarygina // *Environmental Science and Pollution Research.* – 2015. – V. 22. – P. 14379–14382.
40. Tsygankov, V.Yu. Organochlorine pesticide accumulation in seabirds and marine mammals from the Northwest Pacific / V.Yu. Tsygankov, O.N. Lukyanova, M.D. Boyarova // *Marine Pollution Bulletin.* – 2018. – V. 128. – P. 208–213.
41. Waliszewski, S.M. Organochlorine pesticide residue levels in blood serum of inhabitants from Veracruz, Mexico / S.M. Waliszewski, M. Caba, M. Herrero-Mercado [et al.] // *Environmental Monitoring and Assessment.* – 2012. – V. 184. – P. 5613–5621.
42. Wicklund Glynn, A. Serum concentrations of organochlorines in men: a search for markers of exposure / A. Wicklund Glynn, A. Wolk, M. Aune [et al.] // *Science of The Total Environment.* – 2000. – V. 263. – P. 197–208.
43. Yasmeen, H. profile and health vulnerability of female workers who pick cotton by organochlorine pesticides from southern Punjab, Pakistan: Health vulnerability of female workers who pick cotton / H. Yasmeen, A. Qadir, M. Mumtaz [et al.] // *Environmental Toxicology and Chemistry.* – 2017. – V. 36. – P. 1193–1201.
44. Yusa, V. Analytical methods for human biomonitoring of pesticides. A review / V. Yusa, M. Millet, C. Coscolla, M. Rocaet // *Analytica Chimica Acta.* – 2015. – V. 891. – P. 15–31.