

Миронова Е.К.¹, Донец М.М.¹, Гумовский А.Н.¹, Гумовская Ю.П.¹, Боярова М.Д.¹, Анисимова И.Ю.², Коваль И.П.¹, Цыганков В.Ю.¹

Стойкие органические токсиканты в грудном молоке женщин юга и севера Дальнего Востока России и оценка риска для здоровья младенцев

¹ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», 690041, г. Владивосток, Российская Федерация;

²ГБУЗ «Чукотская окружная больница», 689000, г. Анадьрь, Российская Федерация

Введение. Программы мониторинга стойких органических загрязняющих веществ (СОЗ) в окружающей среде и в организме человека осуществляются в различных странах мира. Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения, среди наиболее достоверных индикаторов воздействия токсикантов на здоровье выделяют грудное молоко женщин.

Цель исследования – изучение аккумуляции СОЗ (гексахлорциклогексана (ГХЦГ), дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ), полихлорированных бифенилов (ПХБ)) в грудном молоке женщин юга и севера Дальнего востока России и оценка экологического риска для здоровья младенцев.

Материал и методы. Пробы грудного молока ($n = 94$) собирали с помощью сотрудников нескольких учреждений здравоохранения региона (Приморский край и Чукотский автономный округ (ЧАО)). Возраст участниц исследования составил от 15 до 49 лет. Концентрации хлорорганических пестицидов (ХОП) и ПХБ в образцах грудного молока исследовали методом газовой хромато-масс-спектрометрии.

Результаты. Концентрации СОЗ (Σ ГХЦГ + Σ ДДТ + Σ ПХБ) в пробах грудного молока жительниц Приморья варьировали от 23 до 878 (медиана (Me) 128) нг/г липидов, и от 13 до 621 (Me 58) нг/г липидов в образцах молока женщин Чукотского АО. Диапазоны концентраций ХОП (Σ ГХЦГ + Σ ДДТ) и Σ ПХБ для жительниц Приморья составили – 3–291 (Me 72) и 3–720 (Me 52) нг/г липидов соответственно, для ЧАО – 7–275 (Me 27) и 1–431 (Me 28) нг/г липидов соответственно.

Ограничением исследования является небольшая выборка проб. Однако это не мешает нам проводить оценку и делать предварительные выводы для последующего глубокого анализа состояния этих регионов».

Заключение. Во всех образцах грудного молока обнаружены стойкие органические загрязняющие вещества. Общее содержание СОЗ в пробах грудного молока женщин Приморья выше такового в Чукотском автономном округе. Расчёты по оценке риска показали отсутствие превышения расчётного суточного потребления (EDI) у младенцев, употребляющих грудное молоко в двух регионах. Как следует из результатов расчёта EDI, уровень поступления в организм ПХБ у новорождённых в Чукотке в 1,6 раза выше по сравнению с Приморским краем. В связи с тем, что действие ПХБ связывают с эффектами, оказывающими негативное воздействие на развитие ребёнка и риском развития различных патологий, требуется постоянный мониторинг грудного молока.

Ключевые слова: стойкие органические загрязняющие вещества; хлорорганические пестициды; полихлорированные бифенилы; грудное молоко; оценка риска; Приморский край; Чукотский автономный округ

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено этическим комитетом Школы биомедицины ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», дело № 4, протокол № 5 от 19 декабря 2017 года.

Согласие пациентов. Каждый участник исследования (или его законный представитель) дал информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании и публикацию персональной медицинской информации в обезличенной форме в журнале «Токсикологический вестник».

Для цитирования: Миронова Е.К., Донец М.М., Гумовский А.Н., Гумовская Ю.П., Боярова М.Д., Анисимова И. Ю., Коваль И.П., Цыганков В.Ю. Стойкие органические токсиканты в грудном молоке женщин юга и севера Дальнего Востока России и оценка риска для здоровья младенцев. *Токсикологический вестник*. 2023; 31(2): 99–108. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2023-31-2-99-108>

Для корреспонденции: Цыганков Василий Юрьевич, доктор биол. наук, доцент, директор Департамента комплексных проектов ФГАОУ ВО «ДФУ»; и.о. декана факультета промышленных биотехнологий и биоинженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ФГАОУ ВО «ДФУ»; профессор Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» Института Мирового океана ФГАОУ ВО «ДФУ», 690041, г. Владивосток, Российская Федерация. E-mail: tsig_90@mail.ru

Участие авторов: Миронова Е.К. – написание текста; Цыганков В.Ю. – руководитель исследования, редактирование; Донец М.М. – статистический анализ; Гумовский А.Н., Гумовская Ю.П. – редактирование; Боярова М.Д. – обработка материала; Анисимова И.Ю., Коваль И.П. – сбор материала. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 18-14-00120).

Поступила в редакцию: 13 ноября 2022 / Принята в печать: 02 марта 2023 / Опубликовано: 30 апреля 2023

Mironova E.K.¹, Donets M.M.¹, Gumovskiy A.N.¹, Gumovskaya Yu.P.¹, Boyarova M.D.¹, Anisimova I.Yu.², Koval I.P.¹, Tsygankov V.Yu.¹

Persistent organic toxicants in the breast milk of women in the south and north of the Far East of Russia and infant health risk assessment

¹Far Eastern Federal University, Vladivostok, 690041, Russian Federation;

²Chukotka Regional Hospital, Anadyr, 689000, Russian Federation

Introduction. National programs for monitoring organochlorine compounds (OCs) in the human body are being implemented in different countries. According to WHO, one of the most reliable indicators of the impact of POPs on human health is the determination of their content in women's breast milk.

In this regard, the purpose of the study was to study the accumulations of organic pollutants (OCPs and PCBs) in the breast milk of women in the south and north of the Far East region of Russia and to assess the environmental risk for infants.

Material and methods. Breast milk samples ($n=94$) was collected in several healthcare institutions in the region (Primorsky Krai and Chukotka Autonomous Okrug) with the written consent of the participants in the experiment. The women's age ranged from 15 to 49 years. The concentrations of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in breast milk samples were studied by gas chromatography-mass spectrometry.

Results. The concentrations of POPs ($\Sigma\text{HCH}+\Sigma\text{DDT}+\Sigma\text{PCB}$) in the samples in women's breast milk of Primorye varied from 23 to 878 (median (Me) 128) ng/g and from 13 to 621 (Me 58) ng/g of lipids in the samples of women from the Chukotka Autonomous Okrug, respectively. The range of concentrations of OCPs ($\Sigma\text{HCH}+\Sigma\text{DDT}$) and ΣPCBd for residents of Primorye was 3–291 (Me 72) and 3–720 (Me 52) ng/g of lipids, for CAO – 7–275 (Me 27) and 1–431 (Me 28) ng/g lipid, respectively.

Limitation of the study. The limitation of the study is a small sample sample. However, this does not prevent us from conducting an assessment and making preliminary conclusions for the subsequent in-depth analysis of the state of these regions.

Conclusion. Persistent organic contaminants were found in all breast milk samples. The total content of POPs in women's breast milk of Primorye is higher than in the Chukotka Autonomous Okrug in all age groups. Calculations to assess the risk of not exceeding the estimated daily intake (EDI) in breastfed infants in two regions. As follows from the results of the calculation of EDI, the level of PCB intake in newborns in Chukotka is 1.6 times higher than in Primorsky Krai. Since the action of PCBs is associated with effects that have a negative impact on the development of the child and the risk of possibility of developing various pathologies, this situation is alarming.

Keywords: POPs; HOP; PCBs; breast milk; risk assessment; Primorsky Krai; Chukotka Autonomous Okrug

Compliance with ethical standards. The study was approved by the ethics committee of the School of Biomedicine of the Far Eastern Federal University, case No. 4, protocol No. 5 dated December 19, 2017.

Patient consent. Each participant of the study (or his/her legal representative) gave informed voluntary written consent to participate in the study and publish personal medical information in an impersonal form in the journal “Toksikologicheskii vestnik (Toxicological Review)”.

For citation: Mironova E.K., Donets M.M., Gumovskiy A.N., Gumovskaya Yu.P., Boyarova M.D., Anisimova I.Yu., Koval I.P., Tsygankov V.Yu. Persistent organic toxicants in the breast milk of women in the south and north of the Far East of Russia and infant health risk assessment. *Toksikologicheskii vestnik (Toxicological Review)*. 2023; 31(2): 99-108. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2023-31-2-99-108> (In Russian)

For correspondence: *Vasilyu Yu. Tsygankov*, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Director of the Department of Complex Projects Far Eastern Federal University; Acting Dean of the Faculty of Industrial Biotechnology and Bioengineering of the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems” Far Eastern Federal University; Professor of the UNESCO International Chair “Marine Ecology” Far Eastern Federal University, Vladivostok, 690041, Russian Federation. E-mail: tsig_90@mail.ru

Information about the authors:

Mironova E.K., <https://orcid.org/0000-0002-3746-1084>; SPIN-код: 2358-3800

Donets M.M., <https://orcid.org/0000-0002-2108-4448>; SPIN-код: 9023-6473; Scopus Author ID: 57205716388; Researcher ID: W-8730-2018

Gumovskiy A.N., <https://orcid.org/0000-0002-3414-2010>; SPIN-код: 4319-4728

Gumovskaya Yu.P., <https://orcid.org/0000-0002-5791-5493>; SPIN-код: 8381-4723; Scopus Author ID: 57216505882

Boyarova M.D., <https://orcid.org/0000-0003-0496-7000>; SPIN-код: 8872-8933

Anisimova I.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-9022-7684>; SPIN-код: 9079-1788

Koval I.P., <https://orcid.org/0000-0001-8648-3725>; SPIN-код: 6100-6474

Tsygankov V.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-5095-7260>; SPIN-код: 5047-8410; Scopus Author ID: 56150726400; Researcher ID: J-4069-2013

Authors Contribution: *Mironova E.K.* – writing the text; *Tsygankov V.Yu.* – head of the study, editing; *Donets M.M.* – statistical analysis; *Gumovsky A.N., Gumovskaya Yu.P.* – editing; *Boyarova M.D.* – material processing; *Anisimova I.Yu., Koval I.P.* – collection of material. *All co-authors* – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments. This work was supported by the Russian Science Foundation (agreement No. 18-14-00120).

Received: November 11, 2022 / Accepted: March 2, 2023 / Published: April 30, 2023

Введение

Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) подлежат глобальному сокращению и ликвидации во многих странах мира. СОЗ представляют высокую опасность, которая обусловлена способностью к биомагнификации, трансграничному переносу и наличию широкого диапазона вредных воздействий (канцерогенное, тератогенное, неврологическое и др.) [1]. В большинстве (до 90%) случаев эти вещества попадают в организм с пищей, а также за счёт ингаляции и кожной абсорбции (до 10%) [2, 3].

Одним из важных свойств СОЗ, обусловленных высоким родством к липидам, является низкая скорость распада и выведения из организма, а также способность накапливаться в грудном молоке женщин и передаваться младенцу в период кормления.

В связи с тем, что здоровье человека косвенно отражает состояние экосистем путём различных заболеваний [4–6], мониторинг содержания поллютантов в молоке является необходимым процессом, который поможет понять уровень опасности загрязнения окружающей среды СОЗ

и выявить риски для здоровья беременных женщин, а также новорождённых детей [7, 8].

Юг Дальнего Востока Российской Федерации (РФ) является территорией с развитыми сельскохозяйственными угодьями, где пестициды активно использовали для борьбы с вредителями. Помимо этого, регион граничит с Китаем, где эти соединения до сих пор продолжают применять.

Напротив, северный регион Дальнего Востока РФ находится в суровых климатических условиях Арктики, где отсутствует активная сельскохозяйственная деятельность. Следовательно, основным источником хлорорганических пестицидов (ХОП) могло послужить оленеводство, где для защиты животных от овода применяли специальные препараты, содержащие ХОП [9].

Во многих странах, в том числе в России, осуществляются национальные программы мониторинга ХОП в организме человека. По исследованиям, в частности в Дальневосточном федеральном округе (ДФО) РФ, имеются только предварительные результаты о накоплении СОЗ в организме человека [10, 11].

Одним из достоверных показателей негативного влияния токсикантов на здоровье населения

является определение их содержания в женском грудном молоке. В связи с этим, *цель исследования* – изучить аккумуляции СОЗ в грудном молоке женщин юга и севера Дальнего Востока России и оценить экологический риск для здоровья младенцев.

Материал и методы

Дизайн исследования. Изучены образцы грудного молока 94 женщин репродуктивного возраста (15–49 лет), постоянно проживающих на территориях Приморского края и Чукотского автономного округа (ЧАО) ДФО России.

В 2017 и 2018 гг. исследованы пробы грудного молока 29 и 37, соответственно, жительниц Приморья в возрасте от 15 до 44 лет. В 2019 г. – образцы молока 28 женщин (возраст от 20 до 49 лет) Чукотского АО. Внутри каждого региона женщин разделили на 2 возрастные группы:

- группа «<30» – младше 30 лет – 23 женщины из Приморья, из Чукотки – 16.
- группа «30+» – старше 30 лет – 43 женщины из Приморья и 12 – проживающих в ЧАО.

Настоящая работа является одним из этапов регулярного мониторинга стойких органических загрязняющих веществ в соответствии с Планом выполнения Российской Федерацией обязательств, предусмотренных Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях (Приказ № 529 от 03.10.2017 «Об утверждении Плана выполнения Российской Федерацией обязательств, предусмотренных Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях»).

Способ отбора материала. Пробы грудного молока собирали с помощью сотрудников нескольких учреждений здравоохранения с письменного информированного добровольного согласия участниц эксперимента. Замороженные при –20 °С пробы грудного молока были доставлены в лабораторию Школы прикладной экологии и токсикологии Института Мирового океана Дальневосточного федерального университета. Хлорорганические соединения извлекали экстракцией *n*-гексаном с последующим разрушением жировых компонентов концентрированной серной кислотой [12].

Химический анализ. Для приготовления стандартных растворов ХОП (α -, β -, γ -, δ -гексахлорциклогексан (ГХЦГ); *o,p'*-дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ); *p,p'*-ДДТ; *o,p'*-ДДД; *p,p'*-ДДД; *o,p'*-ДДЕ; *p,p'*-ДДЕ) и полихлорированных бифенилов (ПХБ) (28, 52, 155, 101, 118, 143, 153, 138, 180, 207 ПХБ) использовали стандартные образцы Dr. Ehrenstorfer, Accu Standard и Sigma

Aldrich с установленными метрологическими характеристиками – содержание основного вещества 99,5–99,9% с погрешностью определения 0,3%. Для хроматографии использовали рабочие стандартные растворы СОЗ в диапазоне концентраций 1–100 нг/мл, приготовленные путём разбавления растворов стандартов соответствующим объёмом очищенного *n*-гексана.

Инструментальный анализ. Массовое содержание СОЗ в грудном молоке определяли методом газовой хромато-масс-спектрометрии на газовом хромато-масс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010 Ultra. Более подробные параметры прибора представлены в нашей работе [13].

Оценка риска для младенцев. Для оценки суточного потребления СОЗ младенцами мы рассчитывали суточное употребление токсиканта с пищей (*EDI* – Estimated daily intake) по концентрации ксенобиотиков в грудном молоке. Предполагается, что ребёнок массой тела 5 кг потребляет около 700 г грудного молока в день [10]. Фактическое среднесуточное поступление СОЗ в организм младенца с молоком матери оценивали по формуле:

$$EDI = \frac{C_{milk} \cdot F \cdot 700}{5},$$

где *EDI* – предполагаемая суточная доза (нг/кг массы тела/сутки); C_{milk} – концентрация СОЗ в грудном молоке (нг/г липидов); *F* – процентное содержание жира (1% = 0,01). Потребление СОЗ младенцами сравнивали с рекомендациями *PTDI* (условно допустимое ежедневное потребление), предложенными Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) и Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ)[12–14].

Представление и обработка данных. Статистический анализ проводили с помощью программного пакета IBM SPSS Statistics для MacOS X: использовали медианный критерий, критерий Краскела–Уоллиса при доверительном интервале ($p \geq 0,95$). Данные представлены как диапазон «минимальное – максимальное» (медиана).

Результаты

Хлорорганические пестициды были обнаружены во всех пробах грудного молока женщин юга и севера Дальнего Востока России. Концентрации СОЗ (Σ ГХЦГ+ Σ ДДТ+ Σ ПХБ) в образцах молока женщин Приморья и ЧАО варьировали от 23 до 878 (медиана (*Me*) 128) и от 13 до 621 (*Me* 58) нг/г липидов, соответственно. Диапазоны концентраций ХОП для Приморья (сумма изомеров ГХЦГ (α -, β -, γ -)) для ЧАО (сумма изомеров

ров ГХЦГ (α -, β -, γ - и δ -), ДДТ и его метаболитов (o,p' -ДДТ; p,p' -ДДТ; o,p' -ДДД; p,p' -ДДД; o,p' -ДДЕ; p,p' -ДДЕ)) и конгенеры ПХБ (28, 52, 155, 101, 118, 143, 153, 138, 180 и 207) составили для Приморья – 3–291 (*Me* 72) и 3–720 (*Me* 52) нг/г липидов, для ЧАО – 7–275 (*Me* 27) и от 1–431 (*Me* 28) нг/г липидов, соответственно. Концентрации Σ ГХЦГ и Σ ДДТ варьировали для Приморья – 3–291 (*Me* 61) и 1–83 (*Me* 10) нг/г липидов, для ЧАО – от 5 до 162 (*Me* 20) и от 2 до 113 (*Me* 6) нг/г липидов, соответственно. Изомеры ГХЦГ были обнаружены во всех пробах грудного молока. Наиболее часто встречающаяся форма у женщин юга и севера Дальнего Востока – β -ГХЦГ. Концентрации α -, β -, γ -ГХЦГ варьировали для Приморья – 0,3–3 (1), 3–290 (61) и 1–26 (6) нг/г липидов, для ЧАО – 9–32 (19), 1–162 (12) и 1–12 (3) нг/г липидов, соответственно. Изомер δ -ГХЦГ обнаружен исключительно в пробах грудного молока женщин ЧАО – от 1 до 7 (2) нг/г липидов.

Во всех образцах o,p' -ДДД был ниже предела детектирования. Из других метаболитов ДДТ наиболее определяемыми для Приморья оказались o,p' -ДДЕ (в 29% проб) и p,p' -ДДЕ (в 23% проб) – 1–22 (8) и 0,5–29 (6) нг/г липидов соответственно, для ЧАО – p,p' -ДДЕ (в 75% проб) – 2–57 (6) нг/г липидов.

Полихлорированные бифенилы обнаружены практически во всех образцах грудного молока. Ниже предела детектирования для Приморья были 143 и 207 ПХБ, для ЧАО – 155, 101, 207 ПХБ. Содержание низко хлорированных 28 и 52 ПХБ для южной части – 1–35 (3) и 2–130 (7), для северной – 4–31 (17) и 1–10 (4) нг/г липидов, соответственно. Диапазоны концентраций высоко хлорированных ПХБ (101, 118, 138, 153, 155 и 180) для Приморья – 2–95 (8), 3–253 (9), 3–169 (14), 3–163 (13), 2–49 (10) и 7–19 (12) нг/г липидов; для ЧАО 118, 153, 138 и 180 ПХБ – 3–74 (7), 4–204 (18), 4–84 (10) и 27–75 (60) нг/г липидов, соответственно.

Обсуждение

При изучении связи между концентрациями токсикантов и количеством липидов зависимости не обнаружено ($p \leq 0,05$).

Ограничением данного исследования является небольшой размер выборки. Однако это не мешает нам делать предварительные оценки и заключения для последующего более глубокого анализа этих регионов.

При сравнении концентраций поллютантов в образцах молока женщин из обоих регионов

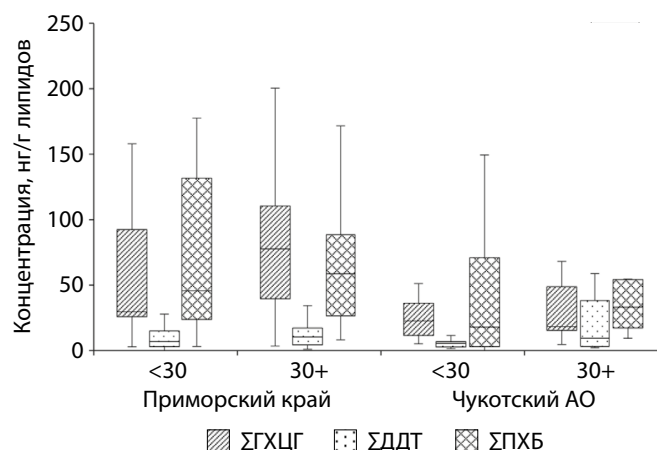


Рис. 1. Диапазон и медиана концентраций токсикантов в грудном молоке жительниц Приморского края и Чукотского автономного округа в разных возрастных группах.

Fig. 1. Range and median concentrations of toxicants in breast milk residents of Primorsky Krai and Chukotka Autonomous Okrug in different age groups.

(рис. 1) статистически значимых различий не обнаружено. Это, вероятно, связано с небольшим количеством выборки и отсутствием нормального распределения. И тем не менее из рисунка видно, что наблюдается тенденция к увеличению концентраций Σ ГХЦГ и Σ ДДТ в молоке у женщин старше 30 лет. Это может быть связано с активной деградацией исходных соединений в организме более зрелых женщин, а также указывать на давнее загрязнение окружающей среды этими токсикантами с последующим распадом до более устойчивых форм. Из-за наличия такого свойства, как биоаккумуляция, химические соединения, поступающие из окружающей среды, со временем постепенно накапливаются в организме.

Известно, что основными путями выведения СОЗ из организма женщины являются перенос через плаценту и грудное молоко во время лактации. Следовательно, можно предположить, что у женщин старше 30 лет роды были не первые, в связи с чем видна тенденция к снижению концентраций ПХБ в молоке по сравнению с показателями более молодой группы. Что же касается агрохимикатов (ДДТ и ГХЦГ), то их концентрации частично показывают обратный эффект, вероятно из-за более давнего поступления в организм и аккумуляции в более глубоких слоях жировой клетчатки.

Концентрации всех исследуемых поллютантов (рис. 2) оказались на порядок выше в Приморском крае по сравнению с Чукотским АО. Статистически достоверно ($p = 0,00$) различаются

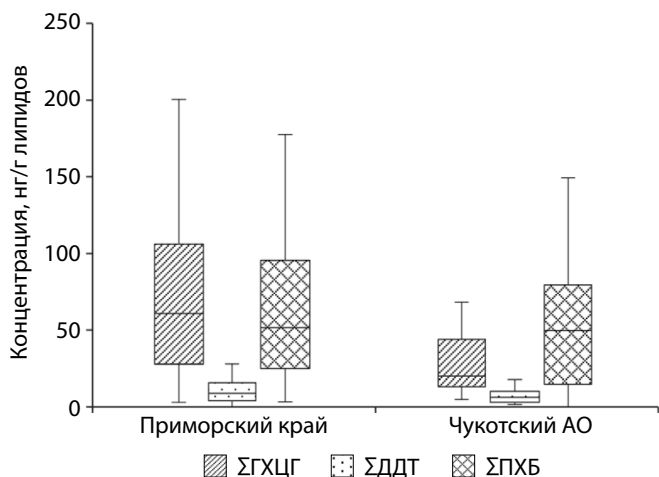


Рис. 2. Диапазон и медиана концентраций токсикантов в грудном молоке жительниц Приморского края и Чукотского автономного округа.

Fig. 2. Range and median concentrations of toxicants in breast milk of residents of Primorsky Krai and Chukotka Autonomous Okrug.

уровни ΣГХЦГ в Приморье, которые превосходят значения в ЧАО. Более высокое содержание ПХБ ($p = 0,02$) в Приморье может указывать на значительный вклад техногенных источников в поступление загрязняющих веществ в окружающую среду. Вероятнее всего, такое соотношение указывает на влияние судоходства и действующих трансформаторов, конденсаторов и прочих агрегатов, содержащих ПХБ.

Также серьёзную опасность загрязнения могут представлять мусоросжигательные заводы, которые генерируют СОЗ, обеспечивая тем самым их появление даже в тех местностях, где их никогда не применяли. Суммарные концентрации ДДТ статистически не различаются, однако наблюдается увеличение уровней этих поллютантов в Приморье. По данным Министерства здравоохранения РФ на территории между Владивостоком и Хабаровском захоронены большие объемы сельскохозяйственных химикатов, включая ДДТ, что может оказывать влияние на его содержание в грудном молоке женщин близлежащих районов.

Качественный состав поллютантов в грудном молоке жительниц Приморского края и Чукотского автономного округа показал достоверные различия по содержанию β-ГХЦГ ($p = 0,34$ и $p = 0,46$ соответственно) у женщин старше 30 лет в этих регионах (рис. 3).

Полученные результаты могут быть связаны с активной деградацией ГХЦГ в организме более зрелых женщин. Как известно, путь деградации изомеров ГХЦГ протекает от наименее к более устойчивым формам ($\gamma \rightarrow \alpha \rightarrow \delta \rightarrow \beta$) [15]. Таким

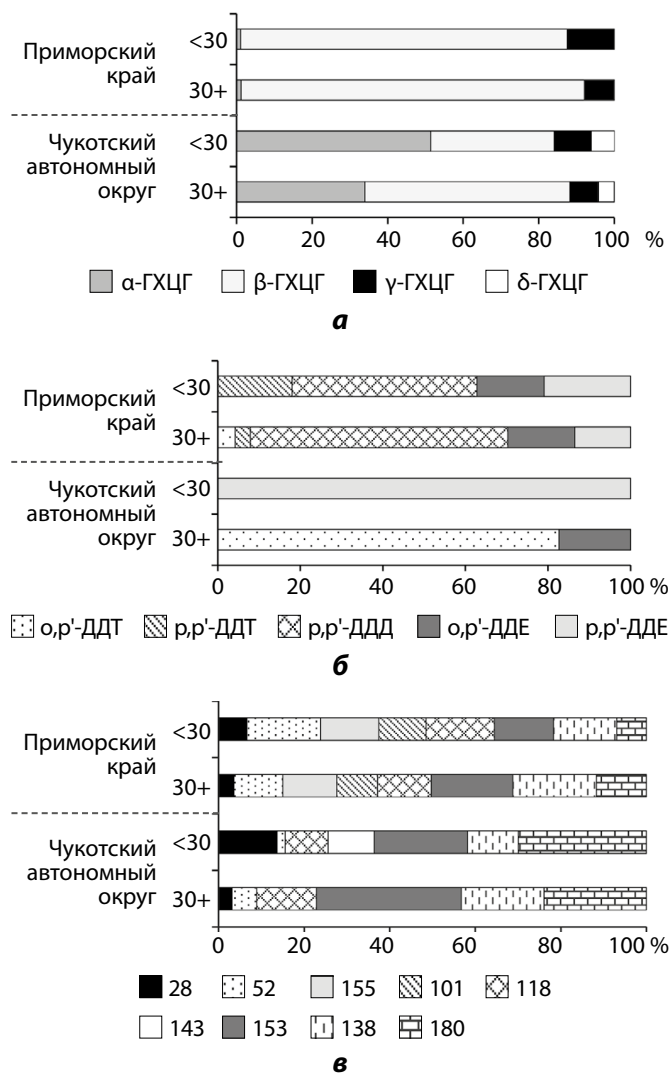


Рис. 3. Распределение ГХЦГ (а), ДДТ (б) и ПХБ (в) в грудном молоке женщин двух возрастных групп, %.

Fig. 3. Distribution of HCH (a), DDT (b) and PCB (c) in breast milk of women of two age groups, %: Primorsky Territory, Chukotka Autonomous Okrug.

образом, преобладание концентраций β-изомера ГХЦГ в молоке женщин Приморского края может указывать на давность поступления этих поллютантов на территорию юга Дальнего Востока.

Из метаболитов ДДТ, преобладающими соединениями в молоке женщин обеих возрастных групп севера Дальнего Востока выступали *o,p'*-ДДТ и *p,p'*-ДДЕ (рис. 3, б), тогда как на юге спектр метаболитов ДДТ был намного шире и преобладающим соединением выступал *p,p'*-ДДД. Таким образом, полученные результаты указывают на давнее поступление ДДТ в среду и его последующую деградацию. Однако обнаруженный *o,p'*-ДДТ в грудном молоке женщин старше 30 лет указывает на недавнее возможное поступление загрязняющих веществ в организм.

Таблица 1 / Table 1

Содержание СОЗ (нг/г липидов) в грудном молоке женщин России и других стран
The content of persistent organic pollutants (POPs) (ng/g lw) in the breast milk of women in Russia and other countries

Регион	Год	ΣГХЦГ	ΣДДТ	ΣПХБ инд.	ΣПХБ	Источник
Чукотка (медиана)	2019	20	6,3	24	58	Эта работа
Приморье (медиана)	2017–2018	76	13	20	78	Эта работа
Иркутск (среднее значение)	1997–2009	4,3	534	155	267	[16]
Забайкалье (среднее значение)	1997–2009	2,5	1122	106	2125	[16]
Бурятия (среднее значение)	2003–2004	810	660	–	240	[17]
Австралия (медиана)	2002–2003	33,36	359	–	–	[18]
Бангладеш (медиана)	2010	582	2033	–	–	[19]
Иран (среднее значение)	2007	1660	1930	690	–	[20]
Китай (медиана)	2006–2010	173 ²	655 ³	–	–	[21]
Колумбия (среднее значение)	2012	–	203 ³	–	–	[22]
Корея	2011	24 ± 16	114 ± 67	–	14,2 ± 11,8	[23]
Ливия (среднее значение)	2007	70	220 ¹	–	–	[24]
Мексика	2004–2014	11 ± 19 ²	972 ± 828	–	–	[25]
Польша	2003	20 ± 6	1195 ± 475	–	115 ± 111,3	[26]
США	2004	18,9 ± 19	65 ± 75	–	–	[27]
Северная Танзания (медиана)	2012	1,11	205	4,19	–	[28]
Тунис	2002–2003	67 ± 2090	3863 ± 120	–	–	[29]
Турция	2007–2008	160 ± 409	1407 ± 23	27 ± 12	–	[30]
Япония (среднее значение)	2008–2009	63	–	–	112	[31]
Вьетнам (среднее значение)	2007–2008	140 ²	1200	–	84	[32]
Индия	2015–2016	47 ± 107	519 ± 1017	–	33 ± 68	[14]
Норвегия (среднее значение)	2002–2009	12,3 ²	1671	–	541,6	[33]
Хорватия (среднее значение)	2011–2014	3,4	16,8	25	66	[34]

Примечание. ¹ – p,p'-ДДЕ и p,p'-ДДТ; ² – только β-ГХЦГ; ³ – только p,p'-ДДЕ.

ПХБ, представленные в основном высокохлорированными конгенерами, обнаружены во всех пробах молока женщин обоих регионов (рис. 3, в).

Высокохлорированные ПХБ, благодаря свойству аккумуляции липидами, практически не выводятся мочевыделительной системой из организма, что указывает на возможность передачи ребёнку этих соединений с молоком и увеличения рисков для здоровья новорождённых.

Сравнение СОЗ в грудном молоке женщин юга и севера Дальнего Востока России с международными данными

Полученные данные сравнивали с результатами исследования СОЗ России и других стран (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что ΣГХЦГ в грудном молоке женщин ЧАО и Приморья выше, чем в некоторых других индустриально развитых странах (США,

Австралия, Корея), но меньше, чем в развивающихся (Китай, Иран, Вьетнам) и таких регионах России, как Республика Бурятия.

По сравнению с Чукоткой, у женщин Приморского края повышенные уровни ГХЦГ в грудном молоке связаны с их большим использованием в сельском хозяйстве и аккумуляцией поллютантов в продуктах питания животного и растительного происхождения в результате биомагнификации [35, 13, 10].

Среди уровней ΣДДТ показатели большинства остальных стран в десятки и сотни раз превышают минимальные концентрации.

Общие ПХБ в грудном молоке женщин севера и юга Дальнего Востока РФ находятся практически в одном положении с некоторыми странами Азиатско-Тихоокеанского региона. Однако в Европе и европейской части России уровни этих поллютантов располагаются на порядок выше. В Чукотском АО, по сравнению с другими

Таблица 2 / Table 2

Расчетное суточное потребление токсикантов (EDI) младенцами Приморского края и Чукотского АО на основе концентраций ксенобиотиков в материнском молоке
Estimated daily intake of toxicants (EDI) by infants in Primorsky Krai and Chukotka Autonomous Okrug based on xenobiotic concentrations in mother's milk

СОЗ	Приморье	ЧАО	PTDI* (нг/кг массы тела/день)
α-ГХЦГ	5,3	113,8	5000
β-ГХЦГ	373,8	119,6	
γ-ГХЦГ	38,1	23,2	
δ-ГХЦГ	–	13,3	
ΣГХЦГ	417,2	270	
o,p'-ДДТ	11,2	–	10000
p,p'-ДДТ	32,6	–	
o,p'-ДДД	–	–	
p,p'-ДДД	145	–	
o,p'-ДДЕ	46,3	–	
p,p'-ДДЕ	45,8	54,2	
ΣДДТ	280,9	54,2	
ПХБ 28	30,4	95,3	1000
ПХБ 52	90,1	29,1	
ПХБ 101	67,5	–	
ПХБ 118	90,4	104,6	
ПХБ 138	112,3	133,8	
ПХБ 143	–	135,3	
ПХБ 153	108,3	242,4	
ПХБ 155	95	–	
ПХБ 180	63,9	300,1	
ΣПХБ	657,9	1040,6	

Примечание. * Codex Alimentarius Commission, FAO/WHO (2005) [36].

странами и Югом Дальнего Востока, индикаторные ПХБ (ПХБ 28, 52, 101, 138, 153, 180) составляют более 50% от общего количества ПХБ. Известно, что на Чукотку большая часть товаров доставляется морским транспортом. Следовательно, наличие значительных концентраций ПХБ в окружающей среде может указывать на активный вклад техногенных источников, влияния судоходства и машинных агрегатов. Также дополнительным источником поступления ПХБ мог послужить завоз горюче-смазочных материалов и технических жидкостей на территории Чукотского автономного округа, где в дальнейшем такие соединения попадают в почвы, грунтовые воды, реки и моря [9].

Оценка риска для новорождённых детей юга и севера Дальнего Востока России

По наличию содержания СОЗ в грудном молоке определено расчетное суточное потребление (EDI). Расчётное потребление ΣПХБ у младенцев Чукотского АО превышает расчетное суточное потребление и в 1,6 раз – по сравнению с уровнями потребления в Приморском крае (табл. 2). Концентрации индивидуальных соединений ХОП и ПХБ, а также суммы изомеров ГХЦГ и метаболитов ДДТ в двух регионах не превышали расчетного суточного потребления (EDI).

Большинство исследований связывают влияние ПХБ с развитием патологий, снижением иммунитета, замедлением роста и веса ребёнка в том случае, если грудное молоко является единственным источником пищи для новорождённых. Такие возможные отклонения от нормального развития делают эту ситуацию тревожной. В связи с тем, что ПХБ способны негативно повлиять на здоровье ребенка и спровоцировать риск развития заболеваний, требуется постоянный мониторинг грудного молока в различных регионах России.

Заключение

Таким образом, во всех образцах грудного молока обнаружены стойкие органические загрязняющие вещества. Общее содержание СОЗ в грудном молоке Приморья выше такового в Чукотском АО во всех возрастных группах. Несмотря на то, что на юге Дальневосточного региона спектр метаболитов ДДТ был шире, общие суммарные показатели ДДТ двух групп на севере оказались выше. Концентрации α-, β-, γ-ГХЦГ были обнаружены практически во всех пробах в двух регионах и только δ-ГХЦГ обнаружен исключительно в пробах у женщин ЧАО. При сравнении полученных данных с международными выявлено, что что ГХЦГ в грудном молоке женщин ЧАО и Приморья выше, чем в некоторых индустриально развитых регионах, но меньше, чем в развивающихся. Среди уровней ΣДДТ показатели большинства остальных стран в десятки и сотни раз превышают минимальные концентрации. Общие ПХБ в грудном молоке женщин севера и юга Дальнего Востока находятся практически в одном положении с некоторыми странами азиатско-тихоокеанского региона. Оценка риска здоровью младенцев по содержанию СОЗ в грудном молоке показала, что на территории Приморского края и Чукотского АО отсутствует превышение установленного расчетного суточного потребления. Такие

результаты говорят о безопасности грудного вскармливания в исследуемых регионах. Потребление младенцами с грудным молоком ПХБ на Чукотке в 1,6 раза превышали таковые уровни в Приморском крае. Полученные результаты

являются подтверждением действия стойких органических загрязняющих веществ на окружающую среду и, следовательно, возможного негативного влияния на экосистемы и здоровье населения в целом.

ЛИТЕРАТУРА

(пп. 1–4, 7, 8, 10–36 см. в References)

- Бобун И.И., Иванов С.И., Унгуряну Т.Н., Гудков А.Б., Лазарева Н.К. К вопросу о региональном нормировании химических веществ в воде на примере Архангельской области. *Гигиена и санитария*. 2011; 3: 91–5.
- Бузинов Р.В., Кики П.Ф., Унгуряну Т.Н., Ярыгина М.В., Гудков А.Б. *От Поморья до Приморья: социально-гигиенические и экологические проблемы здоровья населения: монография*. Архангельск: Изд-во Северного государственного медицинского университета. 2016; 397.
- Дударев А.А. Персистентные полихлорированные углеводороды и тяжёлые металлы в арктической биосфере: основные закономерности экспозиции и репродуктивное здоровье коренных жителей. *Биосфера*. 2009; 1 (2): 186–202.
- Upadhayay J., Rana M., Juyal V., Bisht S.S., Joshi R. Impact of pesticide exposure and associated health effects. *Pesticides in crop production: physiological and biochemical action*. 2001; 69–88. <https://doi.org/10.1002/9781119432241.ch5>
- Nicholson W.J., Landrigan P.J. Human Health Effects of Polychlorinated Biphenyls. *Dioxins and Health*. 1994; 487–524. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1462-0_15
- Tanabe S., Subramanian A. Bioindicators of POPs: monitoring in developing countries. *Kyoto University Press; Trans Pacific Press, Kyoto, Japan : Melbourne*; 2006.
- Unguryanu T., Novikov S., Buzinov R., Gudkov A., Grijbovski A. Respiratory diseases in a town with heavy pulp and paper industry. *Epidemiologia and prevenzione*. 2010; 34: 138.
- Bobun I.I., Ivanov S.I., Ungurianu T.N., Gudkov A.B., Lazarev N.K. Regional standardization of water chemical substances in case of the Arkhangelsk region. *Gigiena i Sanitariya*. 2011; 3: 91–5. (in Russian)
- Buzinov R.V., Kiku P.F., Unguryanu T.N., Yarygina M.V., Gydkov A.B. *From Pomorie to Primorye: socio-hygienic and ecological problems of public health: monograph [Ot Pomor'ya do Primor'ya: social'no-gigienicheskie i e'kologicheskie problemy' zdorov'ya naseleniya: monografiya]*. Arkhangelsk: Izd-vo Severnogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta. 2016; 397. (in Russian)
- Tsygankov V.Yu., Gumovskaya Yu.P., Gumovskiy A.N., Koval I.P., Boyarova M.D. Organic Chlorine Compounds in Breast Milk of Women in the South of the Russian Far East. *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. 2020; 4: 12–8. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-4-12-18>
- Toichuev R.M., Zhilova L.V., Paizildaev T.R., Khametova M.S., Rakhmatillaev A., Sakibaev K.S., et al. Organochlorine pesticides in placenta in Kyrgyzstan and the effect on pregnancy, childbirth, and newborn health. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018; 25(32): 31885–94. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0962-6>
- Dudarev A.A. Persistent polychlorinated hydrocarbons and heavy metals in arctic biosphere: the main regularities of exposure and reproductive health of indigenous people. *Biosphere*. 2009; 1(2): 186–202. (in Russian)
- Van Oostdam J., Gilman A., Dewally E., Usher P., Wheatley B., Kuhnlein H., et al. Human health implications of environmental contaminants in Arctic Canada: a review. *Sci Total Environ*. 1999; 230(1): 165–246. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00036-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00036-4)
- Tsygankov V.Y., Khristoforova N.K., Lukyanova O.N., Boyarova M.D., Kiku P.F., Yarygina M.V. Selected Organochlorines in Human Blood and Urine in the South of the Russian Far East. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2017; 99: 460–4. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2152-0>
- Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D. Sample preparation method for the determination of organochlorine pesticides in aquatic organisms by gas chromatography. *Achievements in the Life Science*. 2015; 9: 65–8. <https://doi.org/10.1016/j.als.2015.05.010>
- Tsygankov V.Yu., Lukyanova O.N., Boyarova M.D. Organochlorine pesticide accumulation in seabirds and marine mammals from the Northwest Pacific. *Marine Pollution Bulletin*. 2018; 128: 208–13. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.027>
- Bawa P. Persistent Organic Pollutants Residues in Human Breast Milk from Bathinda and Ludhiana Districts of Punjab. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2018; 75: 512–20. <https://doi.org/10.1007/s00244-018-0512-3>
- Wu L., Liu Y., Liu X., Bajaj A., Sharma M., Lal R., et al. Isotope fractionation approach to characterize the reactive transport processes governing the fate of hexachlorocyclohexanes at a contaminated site in India. *Environmental International*. 2019; 132. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105036>
- Mamontova E.A., Tarasova E.N., Mamontov A.A. PCBs and OCPs in human milk in Eastern Siberia, Russia: Levels, temporal trends and infant exposure assessment. *Chemosphere*. 2017; 178: 239–48. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.058>
- Tsydenova O.V., Sudaryanto A., Kajiwara N. Organohalogen compounds in human breast milk from Republic of Buryatia, Russia. *Environmental Pollution*. 2007; 146: 225–32. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.04.036>
- Mueller J.F., Harden F., Toms L.M., Symons R., Fürst P. Persistent organochlorine pesticides in human milk samples from Australia. *Chemosphere*. 2008; 70: 712–20. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.037>
- Bergkvist C., Aune M., Nilsson I., Sandanger T.M., Hamadani J.D., Tofail et al. Occurrence and levels of organochlorine compounds in human breast milk in Bangladesh. *Chemosphere*. 2012; 88: 784–90. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.03.083>
- Behrooz D.R., Sari E.A., Bahramifar N., Naghdi F., Shahriyari A. Organochlorine pesticide and polychlorinated biphenyl residues in human milk from Tabriz, Iran. *Toxicological and Environmental Chemistry*. 2009; 91(8): 1455–68.
- Zhou J., Zeng X., Zheng K., Zhu X., Ma L., Xu Q., et al. Musks and organochlorine pesticides in breast milk from Shanghai, China: Levels, temporal trends and exposure assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2012; 84: 325–33. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.08.011>
- Rojas-Squella X., Santos L., Baumann W., Landaeta D., Jaimes A., Correa J.C., et al. Presence of organochlorine pesticides in breast milk samples from Colombian women. *Chemosphere*. 2013; 91: 733–9. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.02.026>
- Lee S., Kim S., Lee H. K., Lee I. S., Park J., Kim H. J., et al. Contamination of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in breast milk in Korea: Time-course variation, influencing factors, and exposure assessment. *Chemosphere*. 2013; 93: 1578–85. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.08.011>
- Al-Targi Z.H.M., Abou El Ela R.G., El-Dressi A.Y. Organochlorine pesticide residues in human breast milk in El-Gabal Al-Akhdar, Libya. *IPCBE International Conference on Life Science and Technology*. 2011; 3: 146–9.
- Chávez-Almazán L.A., Díaz-Ortiz J., Alarcón-Romero M., Dávila-Vazquez G., Saldarriaga-Noreña H., Waliszewski S.M. Organochlorine Pesticide Levels in Breast Milk in Guerrero, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2014; 93: 294–8. <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1308-4>
- Szyrwinska K., Lulek J. Exposure to specific polychlorinated biphenyls and some chlorinated pesticides via breast milk in Poland. *Chemosphere*. 2007; 66: 1895–903. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.08.010>
- Johnson-Restrepo B., Addink R., Wong C., Arcaro K., Kannan K. Polybrominated diphenyl ethers and organochlorine pesticides in human breast milk from Massachusetts, USA. *J Environ Monit*. 2007; 9: 1205. <https://doi.org/10.1039/b711409p>
- Müller M.H.B., Polder A., Brynildsrud O.B., Karimi M., Lie E., Manyilizu W.B., et al. Organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in human breast milk and associated health risks to nursing infants in Northern Tanzania. *Environmental Research*. 2017; 154: 425–34. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.031>
- Ennaceur S., Gandoura N., Driss M.R. Organochlorine Pesticide Residues in Human Milk of Mothers Living in Northern Tunisia. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2007; 78: 325–9. <https://doi.org/10.1007/s00128-007-9185-8>
- Cok I., Yelken Ç., Durmaz E., Üner M., Sever B., Satir F. Polychlorinated Biphenyl and Organochlorine Pesticide Levels in Human Breast Milk from the Mediterranean city Antalya, Turkey. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2011; 86: 423–7. <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0221-3>
- Fujii Y., Ito Y., Harada K.H., Hitomi T., Koizumi A., Haraguchi K. Comparative survey of levels of chlorinated cyclodiene pesticides in breast milk from some cities of China, Korea and Japan. *Chemosphere*. 2012; 89: 452–7. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.098>
- Haraguchi K., Koizumi A., Inoue K., Harada K.H., Hitomi T., Minata M., et al. Levels and regional trends of persistent organochlorines and polybrominated diphenyl ethers in Asian breast milk demonstrate POPs signatures unique to individual countries. *Environmental International*. 2009; 35: 1072–9. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.06.003>
- Lenters V., Izszt N., Forns J., Čechová E., Kočan A., Legler J., et al. 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. *Environmental International*. 2019; 125: 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.020>
- Jovanović G., Romanić S.H., Stojić A., Klincić D., Sarić M.M., Letinić J.G., Popović A. Introducing of modeling techniques in the research of POPs in breast milk – A pilot study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019; 172: 341–7. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.087>
- Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D., Lukyanova O.N. Bioaccumulation of persistent organochlorine pesticides (OCPs) by gray whale and Pacific walrus from the western part of the Bering Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 2015; 99: 235–9. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.020>
- FAO/WHO (2005) Joint meeting of the panel of experts on pesticide residues. <https://www.who.int/ipcs/publications/jmpr/en/>

ОБ АВТОРАХ:

Миронова Екатерина Константиновна (Ekaterina Konstantinovna Mironova) – аспирант 1-го курса Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» Института Мирового океана ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», 690922, г. Владивосток, кампус ДВФУ, о. Русский. E-mail: mironova_kate@bk.ru mironova.ek@students.dvfu.ru

Донец Максим Михайлович (Maxim Mikhailovich Donets) – аспирант 1-го курса Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» Института Мирового океана ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», 690922, г. Владивосток, кампус ДВФУ, о. Русский. E-mail: maksim.donecz@mail.ru donetc.mm@students.dvfu.ru

Гумовский Александр Николаевич (Alexandr Nikolaevich Gumovsky) – специалист Материального отдела ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», 690922, г. Владивосток, кампус ДВФУ, о. Русский. E-mail: gumovskii.an@dvfu.ru

Гумовская Юлия Петровна (Yulia Petrovna Gumovskaya) – кандидат медицинских наук, директор департамента фундаментальной медицины Школы медицины ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», 690922, г. Владивосток, кампус ДВФУ, о. Русский. E-mail: nupl@yandex.ru

Боярова Маргарита Дмитриевна (Margarita Dmitrievna Boyarova) – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией Испытательного центра «Океан», ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», 690922, г. Владивосток, кампус ДВФУ, о. Русский. E-mail: boyarova.m@mail.ru

Анисимова Ирина Юрьевна (Irina Yuryevna Anisimova) – заведующая отделением патологии новорожденных и недоношенных детей ГБУЗ «Чукотская окружная больница», 689000, г. Анадырь. E-mail: anis-ira76@mail.ru

Коваль Ирина Петровна (Irina Petrovna Koval) – кандидат медицинских наук, директор Департамента клинической медицины Школы медицины, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», 690922, г. Владивосток, кампус ДВФУ, о. Русский. E-mail: koval.ip@dvfu.ru

Цыганков Василий Юрьевич (Vasilij Yurievich Tsygankov) – доктор биол. наук, доцент, профессор Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» Института Мирового океана, директор департамента комплексных проектов и и.о. декана факультета промышленных биотехнологий и биоинженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», 690922, г. Владивосток, кампус ДВФУ, о. Русский. E-mail: tsig_90@mail.ru

