

УДК 614.8

<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-4-28-42>

ISSN 1812-5220

© Проблемы анализа риска, 2023

Оценка риска загрязнения окружающей среды и биологических субстратов человека пестицидом ДДТ и его метаболитами

Башкин В.Н.*

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
142290, Россия,
Московская обл., г. Пущино,
ул. Институтская, 2-2

Галиулина Р.А.,

Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
142290, Россия,
Московская обл., г. Пущино,
ул. Институтская, 2-1

Аннотация

На основании многолетних собственных и литературных данных приведены показатели накопления стойких хлорорганических пестицидов (СХП) в биологических субстратах человека и прежде всего в грудном молоке. Важной представляется и оценка источника и времени применения ДДТ. Разработан способ оценки этих факторов и получен патент РФ на изобретение. Изобретение может быть использовано для идентификации по данным мониторинга источника и времени загрязнения основных компонентов окружающей среды — почвы и/или воды и биологических субстратов человека — крови и/или грудного молока стойким хлорорганическим пестицидом ДДТ, дихлородифенилтрихлорэтаном. Дана оценка риска загрязнения окружающей среды и биологических субстратов человека пестицидом ДДТ и его метаболитами.

Ключевые слова: стойкие хлорорганические пестициды; ДДТ; метаболиты; грудное молоко; риск.

Для цитирования: Башкин В.Н., Галиулина Р.А. Оценка риска загрязнения окружающей среды и биологических субстратов человека пестицидом ДДТ и его метаболитами // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. № 4. С. 28–42, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-4-28-42>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Assessment of the Risk of Pollution of the Environment and Human Biological Substrates by the Pesticide DDT and its Metabolites

Vladimir N. Bashkin*,

Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Institute str., 2-2, Pushchino, Moscow region, 142290, Russia

Rosa A. Galiulina,

Institute for Fundamental Problems of Biology Russian Academy of Sciences, Institute str., 2-1, Pushchino, Moscow region, 142290, Russia

Abstract

Based on long-term proprietary and literary data, the indicators of the accumulation of persistent organochlorine pesticides (POP) in human biological substrates and, above all, in breast milk are given. It is also important to assess the source and time of DDT application. A method for assessing these factors has been developed and a patent of the Russian Federation for invention No. 2701554 has been obtained. The invention can be used to identify, according to monitoring data, the source and time of contamination of the main components of the environment — soil and /or water and human biological substrates — blood and / or breast milk with the persistent organochlorine pesticide DDT, dichlorodiphenyltrichloroethane. The assessment of the risk of contamination of the environment and human biological substrates with the pesticide DDT and its metabolites is given.

Keywords: persistent organochlorine pesticides; DDT; metabolites; breast milk; risk.

For citation: Bashkin V.N., Galiulina R.A. Assessment of the risk of pollution of the environment and human biological substrates by the pesticide DDT and its metabolites // Issues of Risk Analysis. 2023;20(4):28-42, (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-4-28-42>

The authors declare no conflict of interest.

Содержание

Введение

1. Миграция СХП в биогеохимических пищевых цепях
2. Накопление СХП в биологических субстратах человека
3. Приемы оценки источника и времени применения СХП в связи с накоплением в биологических субстратах человека
4. Оценка риска источника и времени применения СХП для здоровья человека

Заключение

Литература

Введение

К числу стойких хлорорганических пестицидов (СХП), которых обнаруживают в окружающей среде в наше время, относятся широко применявшиеся в прошлом в сельском хозяйстве (против вредителей культурных растений) и здравоохранении (против переносчиков инфекционных заболеваний) пестициды ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан) и ГХЦГ (гексахлорциклогексан). В промышленности также широко применялись ПХБ (полихлорированные бифенилы). После запрещения использования ДДТ, как наиболее применяемого в большинстве стран мира в начале 1970-х годов, прошел уже не один десяток лет, однако проблема миграции и аккумуляции этого СХП в экологических и биогеохимических цепях остается чрезвычайно актуальной [1].

Огромный масштаб использования и очень высокая стойкость этих поллютантов повлекли за собой различные экологические и токсикологические последствия:

- глобальное загрязнение воздуха, атмосферных осадков, растительности, почв, поверхностных вод, донных отложений, тканей птиц и млекопитающих;
- образование в местах их использования импактных зон на суше, характеризующихся аномально высоким (по сравнению с фоном) содержанием СХП в почве как основной депонирующей среде наземных экосистем;
- формирование импактных зон в водных экосистемах, которые также отличаются повышенным содержанием СХП в донных отложениях как основной депонирующей среде водных экосистем;
- накопление остатков и метаболитов СХП, особенно ДДТ, в биологических субстратах человека, замыкающего большинство пищевых биогеохимических цепей.

Следует отметить, что после запрещения применения ДДТ в большинстве стран мира с 1970 г. и резкого сокращения применения ГХЦГ с 1986 г. их продолжали использовать в развивающихся странах Азии, Африки и Латинской Америки. Поэтому следовало ожидать дальнейшего загрязнения окружающей среды этими веществами и, более того, переноса их на большие расстояния ветром из мест непосредственного применения с последующим выпадением и накоплением в различных природных компонентах. Именно воздушным переносом из регионов Южной

Америки, Африки и Австралии можно объяснить факт обнаружения СХП, а также ПХБ в почвах и донных отложениях водной экосистемы о. Джеймса Росса (Антарктика, море Уэдделла) [2]. Пример юго-восточной части Азовского моря показывает, что высокий риск загрязнения морских прибрежных районов этими стойкими поллютантами — ДДТ, ГХЦГ и ПХБ — связан с существованием их импактной зоны на суше, а также с вторичным загрязнением водной массы из донных отложений [3].

Цель данной работы — оценка риска загрязнения окружающей среды и биологических субстратов человека СХП, и прежде всего пестицидом ДДТ и его метаболитами.

1. Миграция СХП в биогеохимических пищевых цепях

Остаточные количества ДДТ в виде самого ДДТ, и его метаболитов ДДЭ и ДДД из точечных и диффузных источников попадают в окружающую среду, а затем и в различные экологические и биогеохимические цепи: почва-вода-человек, почва-вода-растение-человек или почва-вода-растение-животное-человек, аккумулируются в организме человека и уже при его жизни обнаруживаются в крови или грудном молоке. Носительство ДДТ в организме не только повышает частоту злокачественных новообразований, аллергических и наследственных заболеваний, патологии печени, крови, но и частоту спонтанных аборт, мертворождений и врожденных уродств вследствие хронической интоксикации этим химическим веществом.

Другой причиной не уменьшающегося, а наоборот, возрастающего экотоксического воздействия СХП, является невозможность для многих развивающихся стран по экономическим и технологическим причинам отказаться от их применения в сельском и лесном хозяйстве, а также для борьбы с малярией.

Различные СХП являются ксенобиотиками широкого спектра действия, они проявляют токсичность для биоты. К настоящему времени определены биохимические точки токсического воздействия этих веществ на организмы человека и теплокровных животных. Однако остаются вопросы экотоксичности, особенно ее долгосрочных эффектов. Это связано с выраженной их способностью к миграции по звеньям биогеохимической пищевой цепи в биосфере. Трансграничный

перенос происходит на расстояния в тысячи километров от зоны первоначального загрязнения СХП. При этом воздействию ксенобиотиков подвергаются биосферные провинции, расположенные в других государствах и даже на других континентах. Наряду с воздушной миграцией особое значение имеет и водная миграция этих веществ [4].

Одновременно с выбросами СХП в окружающую среду также проявляется загрязнение биосферных биогеохимических провинций и регионов. Несмотря на непрекращающийся поиск путей уменьшения их отрицательного воздействия на природные комплексы, СХП до настоящего времени играют важную роль в нарушении экологического и биогеохимического равновесия, уменьшении биоразнообразия и ухудшении качества природной среды [5]. В связи с глобальным распространением СХП возникает необходимость постоянного мониторинга загрязнения природных сред, выявления наиболее уязвимых компонентов экосистем, прежде всего — представителей фауны, включая человека, с точки зрения накопления в их организмах пестицидов и отдаленных эффектов токсического воздействия.

Проведенные исследования показали, что остатки ДДТ и ГХЦГ обнаружены в пробах почвы, картофеля, яблок, молока и мяса, а также грудного молока. При этом содержание данных СХП в грудном молоке было одного порядка с количеством веществ, обнаруженном в обычном молоке.

2. Накопление СХП в биологических субстратах человека

Грудное молоко часто используется в качестве биоиндикатора окружающей среды, поскольку оно служит важной средой для накопления хлорорганических пестицидов. Проведенное исследование содержания хлорорганических пестицидов в грудном молоке, собранном в трех округах юго-западной Эфиопии (Асендабо, Денеба и Сербо), выявило возрастные различия у детей. Пробы молока отбирались в начальный период кормления (первый месяц), в середине (шесть месяцев), а также в конце (12 месяцев). Оценивался и риск воздействия на младенцев. Образцы грудного молока были взяты у 168 матерей в три временных интервала. Уровень остатков пестицидов в образцах грудного молока и воздействие пестицидов на младенцев оценивалось путем расчета предполагаемой суточной

дозы и сравнения с предварительной допустимой суточной дозой исследуемых пестицидов. Результаты показали, что из восьми хлорорганических пестицидов, проанализированных в 447 образцах грудного молока при трех отборах проб, были обнаружены ДДТ и его метаболиты. Такие метаболиты, как p' -ДДЭ и p' -ДДТ, были обнаружены во всех (100%) образцах грудного молока, в то время как p , p -DDD и o , p -ДДТ были обнаружены в 53,9% и 42,7%, соответственно. Средняя концентрация общего количества ДДТ в трех временных точках (исходная, средняя и конечная линии) составляла 2,25, 1,68 и 1,32 мкг/г молочного жира, соответственно. Средняя концентрация общего количества ДДТ в трех районах составила 1,85 мкг/г молочного жира, что превышает максимальный предел остаточного содержания (MRL = 0,02 мкг/г молочного жира, установленный ФАО/ВОЗ). Среднее соотношение ДДТ/ДДЭ для трех районов указывает на историческое использование ДДТ в исследуемом районе. Предполагаемая суточная доза (EDI) для младенцев в первый месяц грудного вскармливания составила 11,24 мкг/кг массы тела в день, что выше предварительной допустимой суточной дозы (PTDI) для общего ДДТ, установленной ФАО/ВОЗ, которая составляет 10 мкг/кг массы тела. Поступление СХП вызывает серьезную озабоченность в связи с риском для здоровья младенцев в Эфиопии и странах с аналогичной ситуацией, особенно в первый месяц лактации [6].

Следовательно, уровни ДДТ и его продуктов распада (сумма ДДТ) в окружающей среде (атмосферный воздух, почвы и водные млекопитающие) и в биологических материалах людей из развивающихся регионов (Африки, Латинской Америки и Юго-Восточной Азии) должны быть проанализированы. Более высокие уровни ДДТ в некоторых развивающихся регионах из-за применения в сельском хозяйстве и борьбы с болезнями очевидны. Хотя в настоящее время нет заметных различий между содержанием этого СХП в грудном молоке в развитых и развивающихся странах (регионах), но в то же время имеется тенденция к росту этих показателей именно в развивающихся странах при уменьшении в развитых (рис. 1).

Ряд химических препаратов, включая ДДТ и другие СХП, могут разрушать эндокринную систему (Endocrine disrupting chemicals, EDC) и потенциально привести к повышению риска рака молочной железы [7].

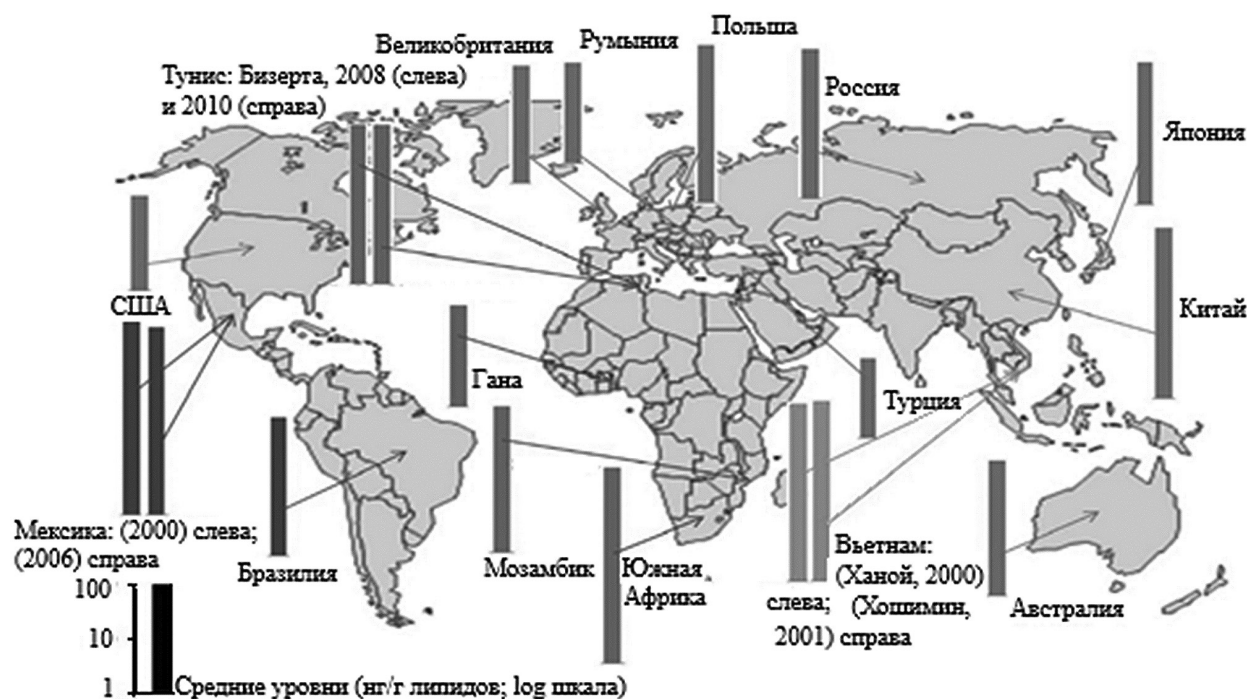


Рис. 1. Содержание ДДТ и его метаболитов в женском молоке

Figure 1. The content of DDT and its metabolites in women's milk

При изучении корреляции между концентрациями СХП и липидов в грудном молоке женщин из Дальневосточного региона какой-либо зависимости не выявлено. Общее содержание было в 2018 г. выше такового в 2017 г. ($p = 0,035$). ГХЦГ, как самый определяемый среди искоемых соединений, в 2018 г. был обнаружен во всех пробах, а в 2017-м только в 84% проб. Концентрации ГХЦГ в 2018 г. значительно превышают значения 2017 г. ($p = 0,016$ и $p = 0,008$ — по разным критериям оценки). Содержание ГХЦГ и ДДТ в 2018 г. выше таковых в 2017 г. ($p = 0,008$ и $p = 0,001$). Этот факт указывает на возможное его использование на территории Дальнего Востока, а также в Южном Китае и Индии [8]. По данным Министерства здравоохранения России, в настоящее время значительные объемы ДДТ хранятся на территориях Приморского, Хабаровского краев и на других территориях Азиатской части России. По результатам исследований видно, что суммарная концентрация ДДТ уменьшается. Понижение содержания ДДТ и его метаболитов указывает на уменьшение использования или неиспользование поллютантов этой группы в сельском хозяйстве. При сравнении

данных с результатами исследований СХП в других регионах отмечено, что сумма СХП в грудном молоке жительниц Дальнего Востока не имеет статистически значимых различий с таковыми в Хорватии, Танзании, Корее, Тайване, Пакистане и некоторых районах Японии. Концентрации в Иркутской области, Республике Бурятия, Чехии, Индии, Норвегии, Вьетнаме, Китае и некоторых районах Японии выше, чем в Приморье. Концентрации ГХЦГ практически во всех странах ниже, чем концентрации ДДТ. Возможно, это связано с большим использованием ГХЦГ в сельском хозяйстве Приморья и аккумуляцией поллютантов в продуктах питания растительного и животного происхождения в результате общей биомagnификации ксенобиотиков (накопление более высоких концентраций с увеличением трофических уровней, в том числе и у человека).

При оценке уровня экспозиции к СХП населения Печенгского района Мурманской области показано, что в группе ДДТ преобладают 4,4ДДЕ (100% всех проб) и 4,4ДДТ (81–100% проб); остальные метаболиты встречаются редко, за исключением 2,4ДДЕ у женщин (16% проб) и беременных (22% проб) и 4,4ДДД у беременных (22% проб) (рис. 2). Относительно частое

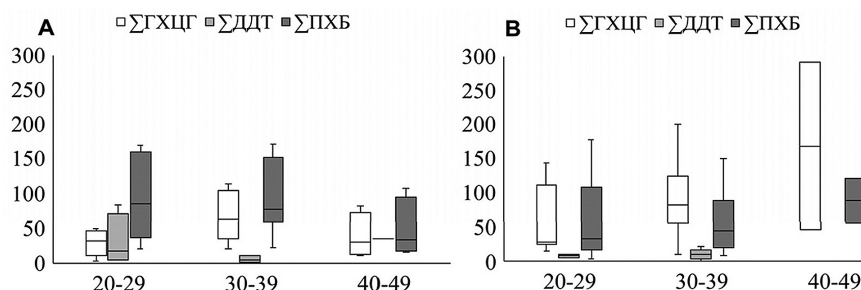


Рис. 2. Общее содержание ГХЦГ, ДДТ и полихлорированных бифенилов (медиана) в грудном молоке женщин в 2017 (А) и 2018 (В) годах, нг/г липидов [9]

Figure 2. Total content of HCG, DDT and polychlorinated biphenyls (median) in breast milk of women in 2017 (A) and 2018 (B), ng/g of lipids [9]

выявление у беременных в крови 4,4-ДДД свидетельствует о вероятном наличии бытового «свежего» источника ДДТ в родильном отделении п. Никель.

Таким образом, важно оценить источник и время применения СХП для оценки риска его накопления в биологических субстратах человека.

3. Приемы оценки источника и времени применения СХП в связи с накоплением в биологических субстратах человека

Существует ряд способов оценки источника и времени применения СХП в связи с накоплением в различных биологических субстратах. Однако в большинстве случаев они имеют ряд существенных ограничений, затрудняющих их использование.

Так, известен способ опознания источника загрязнения окружающей среды [10]. Существенные недостатки этого способа:

1) для опознания источника загрязнения производят отбор и анализ проб воды и почвы, сравнение их содержания с санитарно-гигиеническими и экологическими нормативами без указания самого загрязняющего вещества, в то время как вещества органического и неорганического происхождения могут различаться по характеру аккумуляции и миграции в окружающей среде;

2) производят сложную процедуру опознания источника загрязнения окружающей среды. На карте изучаемое пространство разграничивают на множество однородных областей по совокупности показателей, и если значение последних превышает хотя бы один из используемых нормативов, определяют комбинацию наиболее неинформативных признаков

для каждой экологической зоны, а также вероятность перекрытия анализируемых проб достоверной областью n -мерного вектора выбранной экологической зоны, как бы адекватно отражающей близость анализируемых проб и источника загрязнения;

3) получаемые результаты не позволяют корректно идентифицировать ни источник, ни время поступления не только пестицида ДДТ, но и любого другого загрязняющего вещества в окружающую среду и биологические субстраты человека.

Известен другой способ мониторинга загрязнения фоновых участков местности хлорорганическими пестицидами [11]. Существенные недостатки этого способа:

1) для выявления загрязнения местности хлорорганическими пестицидами, в т.ч. и ДДТ, используются в качестве индикатора органы и ткани взрослых и молодых особей волка, в которых аккумулируется пестицид, передаваемый по экологической цепи от диких и домашних травоядных животных к волку, при этом для получения проб для анализа волк должен отстреливаться в течение всего года;

2) для исследования содержания ДДТ в органах и тканях волка, охотящегося как на диких, так и на домашних животных, при этом не исключается повторение подобного рода исследований с целью уточнения первоначальных данных;

3) степень аккумуляция ДДТ в органах и тканях волка может различаться в зависимости от возраста и пола особи, что может неадекватно отражать уровень загрязнения местности этим пестицидом;

4) после проведения соответствующих исследований наиболее загрязненные зоны местности, индицируемые по содержанию ДДТ в органах и тканях

волка, намечаются для дальнейшего мониторинга и уточнения источников загрязнения;

5) получаемые результаты не позволяют корректно идентифицировать ни источник, ни время поступления ДДТ в окружающую среду и биологические субстраты человека.

Известен третий способ [12]. Существенные недостатки способа:

1) для выявления загрязнения местности хлорорганическими пестицидами, в том числе и ДДТ, в качестве индикатора используются внутренние органы различных травоядных животных: лося, косули и кабана, в которых аккумулируется пестицид, передаваемый по соответствующей экологической цепи: кормовые растения лесных ценозов и агроценозов к животному. Для получения проб для анализа животных надо отстреливать в ходе ежегодных облавных охот;

2) отмечается разное время отбора внутренних органов отстреливаемых животных: лося — в течение всего года; кабана — с августа по октябрь; косули — с марта по апрель, в результате чего время исследования составляет несколько месяцев;

3) степень аккумуляции ДДТ во внутренних органах исследуемых животных может различаться в зависимости от возраста и пола особи и не всегда адекватно отражает уровень загрязнения местности этим веществом;

4) для оценки загрязненности территорий ДДТ используют различные органы и ткани животных. Загрязненность крупного региона определяют по концентрации пестицида в околопочечном жире лося, сельскохозяйственной территории — по концентрации пестицидов в печени и почках кабана, а загрязненность локального лесного массива — по концентрации пестицида в печени косули;

5) получаемые результаты не позволяют корректно идентифицировать ни источник, ни время поступления ДДТ в окружающую среду и биологические субстраты человека.

Следовательно, была поставлена цель — разработать корректный способ идентификации источника и срока внесения ДДТ. Разработанный способ позволяет идентифицировать по данным мониторинга источник и время загрязнения окружающей среды и биологических субстратов человека пестицидом ДДТ в различных регионах. Прежде всего это значимо для районов Крайнего Севера с долговременным

депонированием этих СХП. Полученные результаты могут служить основанием для принятия профилактических и ремедиационных мер по максимально возможному снижению загрязнения окружающей среды и негативного воздействия ДДТ на организм человека.

Данная техническая задача решена благодаря тому, что отбирают репрезентативные пробы почвы, воды, крови и/или грудного молока и анализируют их на содержание ДДТ и его метаболитов ДДЭ и ДДД, затем полученные данные после статистической обработки подвергают сопоставительному анализу, что позволяет получить аргументированное заключение для принятия профилактических или ремедиационных мер по максимально возможному снижению загрязнения окружающей среды и негативного воздействия ДДТ на организм человека.

Способ осуществляют следующим образом: вначале отбирают репрезентативные пробы почвы, воды, крови и/или грудного молока и анализируют на содержание ДДТ и его метаболитов ДДЭ и ДДД с использованием инструментальных методов анализа.

Затем полученные данные после статистической обработки с целью расчета средней арифметической и ошибки средней арифметической подвергают сопоставительному анализу (табл. 1). Если содержание ДДТ в почве и/или воде выше предельно допустимой концентрации, то это свидетельствует о точечном источнике загрязнения, а содержание ДДТ в почве и/или воде ниже предельно допустимой концентрации — о диффузном источнике загрязнения, и если в почве, воде, крови и/или грудном молоке отмечается соотношение:

$$\frac{\text{ДДТ}}{\text{ДДЭ}+\text{ДДД}} > 1, \frac{\text{ДДТ}}{\text{ДДЭ}} > 1$$

или только ДДТ, то это свидетельствует о времени загрязнения не более одного года, а соотношение

$$\frac{\text{ДДТ}}{\text{ДДЭ}+\text{ДДД}} < 1 \text{ или } \frac{\text{ДДТ}}{\text{ДДЭ}} < 1 —$$

о времени загрязнения более одного года.

Нами был проведен сопоставительный анализ данных мониторинга, проведенного авторами статьи совместно с д.г.н. Р.В. Галиулиным, для идентификации источника и времени загрязнения почвы ДДТ в трех районах Европейской территории России (табл. 2).

Таблица 1. Сопоставительный анализ данных мониторинга для идентификации источника и времени загрязнения основных компонентов окружающей среды — почвы и/или воды и биологических субстратов человека — крови и/или грудного молока, стойким хлорорганическим пестицидом ДДТ

Table 1. Comparative analysis of monitoring data to identify the source and time of contamination of the main components of the environment — soil and/or water and human biological substrates — blood and/or breast milk with the persistent organochlorine pesticide DDT

Последовательность операций		
I	II	III
Ввод данных мониторинга	Критерии сопоставительного анализа	Результат идентификации
	Содержание ДДТ выше предельно допустимой концентрации в почве — 100 мкг/кг и в воде — 100 мкг/л	Точечный источник загрязнения ДДТ: шламонакопитель бывшего предприятия по производству препаратов ДДТ, могильник списанных препаратов ДДТ, место несанкционированной, криминальной ликвидации препаратов ДДТ, место неорганизованной свалки препаратов ДДТ или жилище, обработанное препаратами ДДТ в целях борьбы с паразитарными насекомыми
	Содержание ДДТ ниже предельно допустимой концентрации в почве — 100 мкг/кг и в воде — 100 мкг/л	Диффузный источник загрязнения ДДТ: воздушный и водный перенос на дальние расстояния от мест непосредственного применения препаратов ДДТ — сельскохозяйственных угодий, многолетних насаждений или мест выплода кровососущих и переносчиков инфекционных заболеваний насекомых
	$\frac{ДДТ}{ДДЭ+ДДД} > 1, \frac{ДДТ}{ДДЭ} > 1$ или только ДДТ	Загрязнение ДДТ не более одного года
	$\frac{ДДТ}{ДДЭ+ДДД} < 1$ или $\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$	Загрязнение ДДТ более одного года

Таблица 2. Сопоставительный анализ данных мониторинга самих авторов для идентификации источника и времени загрязнения почвы стойким хлорорганическим пестицидом ДДТ в трех районах Европейской территории России

Table 2. Comparative analysis of the authors' own monitoring data to identify the source and time of soil contamination with persistent organochlorine pesticide DDT in 3 districts of the European part of Russia

Последовательность операций		
I	II	III
Ввод данных мониторинга	Сопоставительный анализ по критериям	Результат идентификации
	1-й район. Почва: - содержание ДДТ выше предельно допустимой концентрации — 100 мкг/кг, т.е. 575,7 мкг/кг; ДДЭ — 12,1 мкг/кг; ДДД — 6,8 мкг/кг; $-\frac{ДДТ}{ДДЭ+ДДД} > 1$, т.е. $\frac{575,7}{12,1+6,8} = \frac{575,7}{18,9} = 30,5$	- точечный источник загрязнения ДДТ; - загрязнение ДДТ не более одного года
	Содержание ДДТ ниже предельно допустимой концентрации в почве — 100 мкг/кг и в воде — 100 мкг/л; $-\frac{ДДТ}{ДДЭ+ДДД} > 1$, т.е. $\frac{35,5}{9,3+2,2} = \frac{35,5}{11,5} = 3,1$	- диффузный источник загрязнения ДДТ; - загрязнение ДДТ не более одного года
	3-й район. Почва: - содержание ДДТ ниже предельно допустимой концентрации — 100 мкг/кг, т.е. 47,5 мкг/кг, а ДДЭ — 60,7 мкг/кг и ДДД — 8,1 мкг/кг; $-\frac{ДДТ}{ДДЭ+ДДД} < 1$, т.е. $\frac{47,5}{60,7+8,1} = \frac{47,5}{68,8} = 0,7$	- диффузный источник загрязнения ДДТ; - загрязнение ДДТ более одного года

Также проведен анализ данных мониторинга, проведенного другими авторами для идентификации источника и времени загрязнения воды, крови и грудного молока ДДТ в различных регионах Крайнего Севера (табл. 3).

Разработанное техническое решение позволяет корректно идентифицировать по данным мониторинга источник и время загрязнения почвы, воды, крови и/или грудного молока стойким хлорорганическим пестицидом ДДТ в различных регионах, включая районы Крайнего Севера, а также является основанием для принятия профилактических и ремедиационных мер по максимально возможному снижению загрязнения окружающей среды и негативного воздействия ДДТ на организм человека. Получен патент РФ на изобретение № 2701554.

4. Оценка риска источника и времени применения СХП для здоровья человека

При оценке риска нарушения здоровья, связанного с ДДТ и его метаболитами в регионе Камчатки, не установлено статистически значимых отличий среди лиц, занятых традиционным промыслом, и представителей прочих профессий. Однако нужно подчеркнуть, что среди обследованных оленеводов риск вредного воздействия, связанный с ДДТ, в 2,5 раза выше ($p = 0,011$), чем у других обследованных групп населения ($CR\ 4,7 \cdot 10^{-5}$ [$2,6 \cdot 10^{-5}$ – $6,8 \cdot 10^{-5}$], $HQ\ 0,27$ [$0,15$ – $0,39$]). Отмеченные величины повышенного риска вредного воздействия ДДТ у оленеводов могут быть объяснены отмечаемым использованием в прошлом инсектицидов на основе ДДТ для защиты оленей от кровососущих насекомых [18]. Можно заключить, что основной вклад в риск вредного воздействия суммы ДДТ вносят традиционный характер питания и загрязнение этими веществами поверхностей помещений. Весомый вклад в развитие канцерогенных и неканцерогенных рисков, связанных с ДДТ, отмечен при вторичном загрязнении продуктов питания при их хранении в помещениях. Как правило, эти помещения ранее обрабатывались различными препаратами на основе ДДТ при борьбе с бытовыми насекомыми. Можно предположить, что в связи с прекращением (сокращением) использования в стране СХП относительный вклад загрязненных поверхностей в структуру рисков, связанных с ДДТ, как и уровень самих

рисков, будет в настоящее время снижаться. В качестве косвенного подтверждения следует привести данные о статистически значимом снижении содержания метаболитов ДДТ в крови коренного населения, по данным исследований 2010–2016 гг. [19].

Также было выявлено наличие СХП в грудном молоке (ГМ) кормящих матерей, проживающих в сельской местности на юге Кыргызстана. В этом молоке у 37 из 108 обследованных женщин обнаружено присутствие дихлородифенилэтилена (ДДЭ) и трех изомеров гексахлорциклогексана: α -ГХЦГ, β -ГХЦГ и γ -ГХЦГ. Источник загрязнения, по-видимому, связан с использованием несколько десятилетий назад на этой территории хлорорганических пестицидов [20]. Сравнение полученных данных с результатами аналогичных исследований показывает, что уровень содержания СХП у женщин, проживающих вдали от мест бывшего применения этих препаратов, в большинстве случаев близок тому, что обнаружен в других аналогичных исследованиях. В то же время у женщин, проживающих вблизи мест бывшего применения пестицидов, выявленный уровень содержания СХП в грудном молоке, как правило, превышает данные аналогичного мониторинга, будучи выше иногда на несколько порядков, хотя исследования некоторых авторов были проведены ранее, т.е. 10–15 лет назад.

Так, в Белоруссии [21] определялся уровень содержания СХП в грудном молоке у 90 родильниц г. Минска в период с 1999 по 2002 гг. Обнаружено для ГХЦГ — 0,006 мг/л, ДДТ и его метаболитов — 0,016 мг/л, что близко к полученным данным для жительниц экологически чистых зон. Однако, если сравнить эти данные с результатами для женщин, проживающих в местах бывшего применения пестицидов (вблизи бывших очагов чумы, мест бывших складов СХП и агроаэродромов), получается, что найденные в Киргизии максимальные концентрации значительно превышают соответствующие величины для Белоруссии [21] (для ГХЦГ — превышение в 1,7 раза, для ДДТ и метаболитов — приблизительно в 18 раз). Также показано, что снизить уровень ДДТ и его метаболитов в ГМ помогает коррекция рационов питания беременных и кормящих женщин биологически активными добавками.

Исследования, проведенные в работе [22], описывают результаты анализов проб ГМ, собранных в 2002–2003 гг. на сроке от двух до шести недель после родов у 238 первородящих женщин, живущих

Таблица 3. Сопоставительный анализ данных мониторинга других авторов для идентификации источника и времени загрязнения воды, крови и грудного молока стойким хлорорганическим пестицидом ДДТ в различных регионах Крайнего Севера

Table 3. Comparative analysis of monitoring data from other authors to identify the source and time of contamination of water, blood and breast milk with persistent organochlorine pesticide DDT in various regions of the Far North

Последовательность операций			Данные мониторинга других авторов
Ввод данных мониторинга	Сопоставительный анализ по критериям	Результат идентификации	
	Тюменская область, Ямало-Ненецкий автономный округ. Вода реки Таз: - содержание ДДТ выше предельно допустимой концентрации — 100 мкг/л, т.е. 2800 мкг/л; - только ДДТ	- точечный источник загрязнения ДДТ; - загрязнение ДДТ не более одного года	[13]
	Новосибирская область. Вода реки Обь: - содержание ДДТ выше предельно допустимой концентрации — 100 мкг/л, т.е. 700–1200 мкг/л; - только ДДТ	- точечный источник загрязнения ДДТ; - загрязнение ДДТ не более одного года	[14]
	Архангельская область. Речная вода: - содержание ДДТ выше предельно допустимой концентрации — 100 мкг/л, т.е. 400 мкг/л; - только ДДТ	- точечный источник загрязнения ДДТ; - загрязнение ДДТ не более одного года	[15]
	Чукотский автономный округ. Кровь: мужчин, мкг/л: - $\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$, т.е. $\frac{0,18}{1,28} = 0,14$; женщин, мкг/л: - $\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$, т.е. $\frac{0,07}{1,25} = 0,06$ Ненецкий автономный округ. Кровь: мужчин, мкг/л: - $\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$, т.е. $\frac{0,09}{0,71} = 0,13$; женщин, мкг/л: - $\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$, т.е. $\frac{0,12}{1,29} = 0,09$	- загрязнение ДДТ более одного года; - загрязнение ДДТ более одного года - загрязнение ДДТ более одного года; - загрязнение ДДТ более одного года	[16]
	Мурманская область. Кровь: мужчин, мкг/л: - $\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$, т.е. $\frac{0,27}{1,05} = 0,26$; женщин, мкг/л: - $\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$, т.е. $\frac{0,13}{1,37} = 0,09$	- загрязнение ДДТ более одного года; - загрязнение ДДТ более одного года	[9]
	Российская Арктика. Грудное молоко, пг/г: - $\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$, т.е. $\frac{194}{1269} = 0,15$	- загрязнение ДДТ более одного года	[17]

в Гонконге и Южном Китае. Авторы выявили следующие средние уровни СХП: α -ГХЦГ — 0,6, β -ГХЦГ — 940, γ -ГХЦГ — 1,8 нг/г жира, при этом даже максимальная концентрация ГХЦГ на несколько порядков ниже аналогичных данных для юга Кыргызстана.

Проведенные в 2012 [23] и 2016 [24] гг. исследования в Казахстане выявили хлорорганические пестициды в пробах грудного молока до 0,0007 мг/л, что значительно ниже всех обнаруженных концентраций ХОП в южных районах Киргизии.

Авторы работы [25] провели анализ ГМ на содержание ХОП в 2002–2003 гг. в Гонконге и обнаружили, что средний уровень ДДТ в ГМ составлял 1,50 мг/кг жира. В работе [26] выполнен анализ проб ГМ 25 матерей в Таиланде в декабре 1998 г. и показано, что среднее содержание остатков ДДТ составило 14,96 мкг/г молочных липидов. Эти данные близки к полученным показателям для жительниц экологически чистых зон в Центральной Азии, но на несколько порядков ниже обнаруженных концентраций ДДЭ в неблагополучных местах проживания женщин [20].

В работе [27] анализировали пробы ГМ 84 кормящих матерей, проживающих в сельских районах Фландрии (Бельгия) в 2009–2010 гг. Обнаруженная концентрация ДДТ составила 0,03 нг/г липидов, т.е.

в центральноазиатских регионах концентрация СХП, по сравнению с бельгийскими данными, была выше даже в случаях проживания женщин вдали от мест бывшего применения пестицидов. При оценке содержания СХП в грудном молоке женщин Армении в течение 2006–2008 гг. эти препараты были обнаружены также на более низком уровне [28]: γ -ГХЦГ — 0,76; 0,65 и 2,96 мкг/л, ДДЭ — 5,3; 2,11 и 2,75 мкг/л, соответственно. Таким образом, концентрация СХП в ГМ женщин Армении была на один — два порядка ниже, чем в Кыргызстане. Обнаруженные в пробах ГМ максимальные уровни ГХЦГ и ДДЭ в Кыргызстане превышали также опубликованные в литературе уровни этих соединений в ГМ жительниц России [17, 28–30].

Расчетное ежедневное потребление p , p' -ДДТ при грудном вскармливании в различных регионах изменяется от <100 нг/кг веса ребенка в день до >3500, например, в Китае в период 2000–2020-х гг. [1]. При этом пороговое значение p , p' -ДДТ для младенцев, находящихся на грудном вскармливании, составляет 500 нг/кг. В таблице 4 приведены данные для различных пороговых показателей риска для ДДТ и его метаболитов.

Таблица 4. Действующие нормативы ДДТ и его метаболитов (ДДЕ, ДДД), принятые различными международными организациями согласно Конвенции о принятии международных мер в отношении отдельных стойких органических загрязнителей, подписано в Стокгольме в 2001 г.

Table 4. Current standards of DDT and its metabolites (DDE, DDD) adopted by various international organizations in accordance with the Convention on the Adoption of International Measures for Certain Persistent Organic Pollutants, signed in Stockholm in 2001

Источник сведений или организация	Норма ДДТ и метаболитов
ФАО/ВОЗ, допустимое дневное потребление	20 мкг/кг
ВОЗ, Руководство по питьевой воде	1 мкг/л
Руководство ВОЗ по ДДТ, молоко (в жире)	1 мкг/г жира
US EPA*, минимальный уровень риска (MRL)	0,5 нг/кг/день
US EPA, Фрукты и овощи	0,1–0,5 мг/кг
US EPA, Яйца, крупы	0,5 мг/кг
US EPA, Молоко	0,05 мг/кг
US EPA, Мясо	5,0 мг/кг

*US EPA — Агентство по защите окружающей среды США

Как следует из результатов расчета EDI, потребление ПХБ у младенцев немного выше условно-допустимого потребления. Тот факт, что большинство исследований связывают ПХБ с такими последствиями, как: развитие врожденных патологий, снижение иммунитета, снижение веса и маленький размер ребенка при рождении, делает эту ситуацию тревожной и требует постоянного контроля. При этом, содержание ДДТ и его метаболитов было ниже предела обнаружения в половине проб грудного молока в ряде регионов, отмеченных выше.

Заключение

В грудном молоке были обнаружены сотни ксенобиотиков самого разнообразного происхождения, включая вызывающие все большую озабоченность загрязняющие вещества, средства личной гигиены и другие используемые в настоящее время вещества, отражающие образ жизни. Пути воздействия этих химических веществ включают всасывание через кожу, поглощение и вдыхание. Определенные семейства химических веществ доминируют в исследованиях по мониторингу грудного молока (например, хлорорганические пестициды, бисфенол А, диоксины), хотя другие, такие как ДДТ и его метаболиты, встречаются чаще [31]. При этом, несмотря на риск для здоровья младенцев, преимущество грудного вскармливания намного перевешивает токсикологические недостатки этих СХП [32].

Важным представляется и оценка источника и времени применения ДДТ. Разработан способ оценки этих факторов и получен патент РФ № 2701554 на изобретение [33]. Изобретение относится к области геоэкологии и может быть использовано для идентификации по данным мониторинга источника и времени загрязнения основных компонентов окружающей среды — почвы и/или воды и биологических субстратов человека — крови и/или грудного молока, стойким хлорорганическим пестицидом ДДТ, дихлородифенилтрихлорэтаном. Для этого отбирают репрезентативные, представительные пробы почвы, воды, крови и/или грудного молока и анализируют их на содержание ДДТ и его метаболитов ДДЭ, дихлородифенилдихлорэтилена и ДДД, дихлородифенилдихлорэтана. После статистической обработки полученные данные подвергают сопоставительному анализу: если содержание ДДТ в почве и/или воде выше предельно допустимой концентрации, то это свидетельствует о точечном источнике загрязнения; если содержание ДДТ в почве и/или воде ниже

предельно допустимой концентрации — о диффузном источнике загрязнения; если в почве, воде, крови и/или грудном молоке, соотношение

$$\frac{\text{ДДТ}}{\text{ДДЭ}} > 1,$$

или только ДДТ, то это свидетельствует о времени загрязнения не более одного года, а соотношение

$$\frac{\text{ДДТ}}{\text{ДДЭ}+\text{ДДД}} < 1 \text{ или } \frac{\text{ДДТ}}{\text{ДДЭ}} < 1 —$$

о времени загрязнения более одного года.

Способ позволяет корректно идентифицировать источник и время загрязнения почвы, воды, крови и/или грудного молока пестицидом ДДТ, что является основанием для принятия профилактических и ремедиационных мер по максимально возможному снижению загрязнения окружающей среды и негативного воздействия ДДТ на организм человека.

Литература [References]

1. Mochungong P. Zhu and J. DDТs, PCBs and PBDEs contamination in Africa, Latin America and South-southeast Asia — a review // AIMS Environmental Science. 2015;2(2):374–399, <https://doi.org/10.3934/environsci.2015.2.374>
2. Klanova J., Matykiewiczova N., Macka Z., et al. Persistent organic pollutants in soils and sediments from James Ross Island, Antarctica // Environmental Pollution. 2008;152(2):416–423, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.026>
3. Галиулин Р. В., Галиулина Р. А. Стойкие поллютанты суши и моря // Вестник Российской академии наук. 2014. Т. 84. № 4. С. 335–339, <https://doi.org/10.7868/S0869587314040045> [Galiulin R. V., Galiulina R. A. Persistent pollutants of land and sea // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2014;84(4):335–339, (In Russ.), <https://doi.org/10.7868/S0869587314040045>]
4. Моисеенко Т. И. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука. 2009. 400 с. [Moiseenko T. I. Aquatic ecotoxicology: Theoretical and applied aspects. M: Nauka, 2009. 400 p., (In Russ.)]
5. Тютиков С. Ф. Миграция и биогеохимическая индикация стойких органических загрязнителей // Геохимия. 2018. № 10. с. 979–987 <https://doi.org/10.1134/S0016752518100114> [Tyutikov S. F. Migration and biogeochemical

- indication of persistent organic pollutants // *Geokhimiya*. 2018;(10):979–98. (In Russ.), <https://doi.org/10.1134/S0016752518100114>
6. Mekonen S, Ambelu A., Wondafrash M., Kolsteren P., Spanoghe P. Exposure of infants to organochlorine pesticides from breast milk consumption in southwestern Ethiopia Natureportfolio // *Scientific Reports*. 2021;11(1):22053, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01656-x>
 7. Murphy Lam Yim Wan, Vanessa Anna Co & Hani El-Nezami Endocrine disrupting chemicals and breast cancer: a systematic review of epidemiological studies // *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2022;62(24):6549–6576, <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1903382>
 8. Цыганков В.Ю., Гумовская Ю.П., Гумовский А.Н., Коваль И.П., Боярова М.Д. Хлорорганические соединения в грудном молоке женщин юга Дальневосточного региона России // *Экология человека*. 2020. № 4. С. 12–18, <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-4-12-18> [Tsygankov V. Yu., Gumovskaya Yu.P., Gumovsky A.N., Koval I. P., Boyarova M. D. Organic chlorine compounds in breast milk of women in the south of the Russian Far East // *Human ecology*. 2020;(4):12–18, (In Russ.), <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-4-12-18>]
 9. Дударев А.А., Душкина Е.В., Сладкова Ю.Н., Чупахин В.С., Лукичева Л.А. Уровни экспозиции к стойким органическим загрязнителям (СОЗ) населения Печенгского района Мурманской области // *Токсикологический вестник*. 2016. № 3. С. 2–9, <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2016-3-2-9> [Dudarev A.A., Dushkina E.V., Slakova Yu.N., Chupakhin V.S., Lukicheva L.A. Exposure levels of persistent organic pollutants (POPS) among population of the Pechenga district in the Murmansk region // *Toxicological Review*. 2016;(3):2–9, (In Russ.), <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2016-3-2-9>]
 10. Патент на изобретение № 2102743. Способ опознания источника загрязнения окружающей среды. Чендарев В.В., Васякин Г.И., Чаганов М.С., Муслимов Р.Х., Гатиятуллин Н.С., Медведев А.М., Покровский В.А., 1996 [Patent for invention No. 2102743. A method of identifying the source of environmental pollution. Chendarev V.V., Vasyakin G.I., Choshanov M.S., Muslimov R.H., Gatiyatullin N.S., Medvedev A.M., Pokrovsky V.A., 1996, (In Russ.)]
 11. Патент на изобретение № 24222817. Способ мониторинга загрязнения фоновых участков местности хлорорганическими пестицидами. Бондарев А.Я., Котлов А.А., 2010 [Patent for invention No. 24222817. A method for monitoring contamination of background areas with organochlorine pesticides. Bondarev A. Ya., Kotlov A. A., 2010, (In Russ.)]
 12. Патент на изобретение № 2267781. Способ оценки загрязнения территорий пестицидами. Тютиков С.Ф., Ермаков В.В., Проскурякова Л.В., 2004 [Patent for invention No. 2267781. A method for assessing the contamination of territories with pesticides. Tyutikov S.F., Ermakov V.V., Proskuryakova L.V., 2004, (In Russ.)]
 13. Дмитриевская Е.С., Красильникова Т.А., Маркова О.А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в марте 2013 г. // *Метеорология и гидрология*. 2013. № 6. С. 101–106 [Dmitrevskaya E.S., Krasilnikova T.A., Markova O.A. On pollution of the natural environment and radiation situation on the territory of the Russian Federation in March 2013 // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2013;(6):101–106, (In Russ.)]
 14. Дмитриевская Е.С., Красильникова Т.А., Маркова О.А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в июле 2015 г. // *Метеорология и гидрология*. 2015. № 10. С. 101–108 [Dmitrevskaya E.S., Krasilnikova T.A., Markova O.A. On pollution of the natural environment and radiation situation on the territory of the Russian Federation in July 2015 // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2015;(10):101–108, (In Russ.)]
 15. Дмитриевская Е.С., Красильникова Т.А., Маркова О.А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в октябре 2016 г. // *Метеорология и гидрология*. 2017. № 1. С. 124–131 [Dmitrevskaya E.S., Krasilnikova T.A., Markova O.A. On pollution of the natural environment and radiation situation on the territory of the Russian Federation in October 2016 // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2017;(1):124–131, (In Russ.)]
 16. Чашин М.В., Чашин В.П., Федоров В.Н., Захарова Н.В., Кузьмин А.В., Ковшов А.А., Янталец Е.В., Кусраева З.С., Абрамян С.М., Зибарев Е.В., Мишквич И.А. Основные тенденции изменения концентраций стойких токсичных веществ в крови коренного населения Арктики // *Экология человека*. 2012. № 6. С. 3–7 [Chashchin M.V., Chashchin V.P., Fedorov V.N., Zakharova N.V., Kuzmin A.V., Kovshov A.A., Yantalets E.V., Kusraeva Z.S., Abramyan S.M., Zibarev E.V., Mishkchik I.A. The

- main trends in the concentrations of persistent toxic substances in the blood of the indigenous population of the Arctic // *Human ecology*. 2012;(6):3–7 (In Russ.)]
17. Мамонтова Е. А., Тарасова Е. Н., Кузьмин М. И., Махлахан М. С., Папке О., Мамонтов А. А. Содержание стойких органических загрязнителей в грудном молоке жительниц Иркутской области // *Гигиена и санитария*. 2010. № 1. С. 35–38 [Mamontova E. A., Tarasova E. N., Kuzmin M. I., Maklakhhan M. S., Papke O., Mamontov A. A. The levels of stable organic pollutants in the breast milk of women living in the Irkutsk region // *Hygiene and sanitation*. 2010; 1: 35–38 (In Russ.)]
 18. Ковшов А. А., Чашин В. П. Оценка риска здоровью коренных жителей Чукотского автономного округа в условиях воздействия стойких загрязняющих веществ // *Здоровье населения и среда обитания*. 2019. № 12(321). С. 4–10, <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-321-12-4-10> [Kovshov A. A., Chashchin V. P. Health risk assessment for indigenous people of Chukotka Autonomous Okrug exposed to persistent pollutants // *Public Health and Life Environment — PH&LE*. 2019;(12):4–10, (In Russ.), <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-321-12-4-10>]
 19. Dudarev AA, Chupakhin VS, Vlasov SV, et al. Traditional diet and environmental contaminants in Coastal Chukotka II: Legacy POPs // *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(5):695, <http://doi.org/10.3390/ijerph16050695>
 20. Тойчуев Р. М., Тойчуева А. У. Мониторинг хлорорганических пестицидов в грудном молоке женщин Кыргызстана // *Химическая безопасность*. 2019. Т. 3. № 2. С. 94–109, <http://doi.org/10.25514/CHS.2019.2.16004> [Toychuev R. M., Toychueva A. U. Monitoring of organochlorine pesticides in breast milk of women of Kyrgyzstan // *Chemical Safety Science*. 2019;3(2):94–109, (In Russ.), <http://doi.org/10.25514/CHS.2019.2.16004>]
 21. Малевич Ю. К., Симонова Е. В. Хлорорганические пестициды и их влияние на качественный состав грудного молока родильниц // *Белорусский медицинский журнал*. 2003. № 3. С. 86–88 [Malevich Yu. K., Simonova E. V. Organochlorine pesticides and their influence on the qualitative composition of women's breast milk // *Belarusian Medical Journal*. 2003;(3):86–88, (In Russ.)].
 22. Hedley A. J., Hui L. L., Kypke K. et al. Residues of persistent organic pollutants (POPs) in human milk in Hong Kong // *Chemosphere*. 2010;79(3):259–265, <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.01.047>
 23. Каракушикова А. С., Тогузбаева К. К., Мырзахметова Ш. К. и др. Оценка влияния экологического фактора на состояние здоровья сельского населения // *Вестник КазНМУ*. 2014. № 3(3). С. 23 [Karakushikova A. S., Toguzbaeva K. K., Myrzakhmetova Sh. K. et al. Assessment of the impact of the environmental factor on the health of the rural population // *Bulletin of KazNMU*. 2014;3(3):23, (In Russ.)]
 24. Тогузбаева К. К., Ниязбекова Л. С., Сейдуанова Л. Б. и др. Влияние экологического фактора на состояние здоровья сельского населения // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 4–2. С. 507–510 [Toguzbaeva K. K., Niyazbekova L. S., Seiduanova L. B., et al. The impact of environmental factors on the health of rural population // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2016;(4–2):507–510. (In Russ.)]
 25. Hui L. L., Hedley A. J., Kypke K. et al. DDT levels in human milk in Hong Kong, 2001–02 // *Chemosphere*. 2008;73(1):50–55, <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.05.045>
 26. Stuetz W., Prapamontol T., Erhardt J. G., Classen H. G. Organochlorine pesticide residues in human milk of a Hmong hill tribe living in Northern Thailand // *Sci. Total Environ*. 2001;273(1–3):53–60, [http://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00842-1](http://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00842-1).
 27. Croes K., Colles A., Koppen G. et al. Persistent organic pollutants (POPs) in human milk: a biomonitoring study in rural areas of Flanders (Belgium) // *Chemosphere*. 2012;89(8):988–994, <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.06.058>
 28. Тадевосян Н. С. Мониторинг отдельных хлорорганических пестицидов в организме сельских жительниц Армении и показатели физического развития новорожденных и детей первого года жизни // *Вестник КГМА им. И. К. Ахунбаева*. 2016. № 5. С. 159–164 [Tadevosyan N. S. Monitoring of certain organochlorine pesticides in rural female population of Armenia and indices of physical development of newborns and infants // *Bulletin of the KSMA named after I. K. Akhunbayev*. 2016;(5):159–164, (In Russ.)].

29. Sergeyev O., Shelepchikov A., Denisova T. et al. POPs in human milk in Chapaevsk, Russia, five years following cessation of chemical manufacturing and decade of remediation program, pilot study // *Organohalogen Compounds*. 2008;70:1946–1949
30. Московчук О. Б., Московчук К. М., Евстафьева Е. В. Элементный статус и содержание пестицидов в организме женщин-родильниц. Современные аспекты экологической медицины: теория и практика на Крымском полуострове. М.: «Научно-издательский центр ИНФРА-М». 2023. С. 197–201. [Moskovchuk O. B., Moskovchuk K. M., Evstafieva E. V. The elemental status and content of pesticides in the body of women in childbirth. In: *Modern aspects of environmental medicine: theory and practice on the Crimean Peninsula*. M: SPC"INFRA-M". 2023, 197–201 (In Russ.)]
31. Галиулин Р. В., Башкин В. Н., Галиуллина Р. А. Агрогеохимия стойких пестицидов // *Вестник Российской академии наук*. 2015. Т. 85. № 2. С. 152–154, <http://doi.org/10.7868/S086958731502005X> [Galiulin R. V., Bashkin V. N., Galiullina R. A. Agrogeochemistry of persistent pesticides // *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk*. 2015;85(2): 152–154, (In Russ.), <http://doi.org/10.7868/S086958731502005X>].
32. Hu L., Luo D., Wang L., Yu M., Zhao S., Wang Y., Mei S., Zhang G. Levels and profiles of persistent organic pollutants in breast milk in China and their potential health risks to breastfed infants: A review // *Science of the Total Environment*. 2021;753:142028
33. Патент РФ на изобретение № 2701554. Способ идентификации источника и времени загрязнения окружающей среды и биологических субстратов человека пестицидом ДДТ в регионах Крайнего севера. Арно О. Б., Арабский А. К., Башкин В. Н., Галиулин Р. В., Галиуллина Р. А., 2019 [RF Patent for

invention No. 2701554. [RF Patent for invention No. 2701554. A method for identifying the source and time of contamination of the environment and human biological substrates with the pesticide DDT in the regions of the Far North. Arno O.B., Arabsky A.K., Bashkin V.N., Galiulin R.V., Galiulina R.A. 2019, (In Russ.)]

Сведения об авторах

Башкин Владимир Николаевич: доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

Количество публикаций: более 400

Область научных интересов: геоэкологические риски, газовая промышленность, биогеохимия, поллютанты

Researcher ID: J-4621-2018

Scopus Author ID: 7005340339

ORCID: 0000-0001-5656-3011

Контактная информация:

Адрес: 142292, Московская обл., г. Пущино,

ул. Институтская, д. 2–2, ИФХБПП РАН

vladimirbashkin@yandex.ru

Галиуллина Роза Адхамовна: научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт фундаментальных проблем биологии РАН

Количество публикаций: более 80

Область научных интересов: геоэкологические риски, газовая промышленность, биогеохимия, поллютанты

Scopus Author ID: 6602432775

Контактная информация:

Адрес: 142292, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 2–1, ИФПБ РАН

rosa_g@rambler.ru

Статья поступила в редакцию: 01.06.2023

Одобрена после рецензирования: 14.06.2023

Принята к публикации: 19.06.2023

Дата публикации: 31.08.2023

The article was submitted: 01.06.2023

Approved after reviewing: 14.06.2023

Accepted for publication: 19.06.2023

Date of publication: 31.08.2023