

© Николаева Л.А., Игнатъева Л.П., Савченков М.Ф., 2020
УДК 504.5:613.9

Факторы риска загрязнения окружающей среды диоксинсодержащими соединениями

Л.А. Николаева, Л.П. Игнатъева, М.Ф. Савченков

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава РФ,
ул. Красного Восстания, д. 1, г. Иркутск, 664003, Российская Федерация

Резюме: *Введение.* Установлено, что применение гербицидов группы 2,4-Д загрязняет окружающую среду полихлорированными соединениями, в том числе диоксинами. Дополнительными факторами риска для здоровья населения и окружающей среды являются природно-климатические условия Сибири, процессы транслокации соединений из почвы в растения, их способность достигать организма человека и оказывать токсический эффект. *Материалы и методы.* Был использован метод хромато-масс-спектрометрии, сочетающий высокую эффективность разделения примесей, возможность однозначного установления их молекулярного состава, селективность регистрации и высокую чувствительность. Для определения остаточных количеств аминной соли 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д) в почве, кормах и продуктах питания растительного и животного происхождения использовали хроматографический метод. При расчете средних и статистических ошибок показателей использовали t-критерий Стьюдента, пакет программы MS Excel. *Результаты исследования.* Обнаружено загрязнение аминной солью гербицида 2,4-Д воды открытых водоемов в Иркутской области в концентрации до 7,7 мкг/л с числом положительных проб 49 %. В весенне-летний период вода открытых водоемов также загрязнена. В почвах аминная соль 2,4-Д малоподвижна, концентрируется в поверхностном слое на уровне 0,42–0,37 мг/кг. Максимальная суммарная концентрация диоксинов в почве достигала 1 479 нг/кг, что превышало ПДК диоксинов в почве в 306 раз. Максимальная концентрация диоксинов в кормах обнаружена в конце вегетационного периода (317–322 нг/кг). Диоксины накапливаются в жиросодержащих продуктах питания, в сливочном масле обнаружено содержание диоксинов на уровне 680,6 нг/кг (ПДК превышено в 10 раз). По расчету суточное поступление диоксинов в организм человека с продуктами питания можно ожидать на уровне 26,2 нг/кг, что в 2,6 раза превышает ПДК. Выполнен экологический и медико-гигиенический анализ последствий применения гербицида 2,4-Д, представляющего серьезную опасность для здоровья человека в связи с возможностью образования диоксинов. Выделены факторы риска и обоснована суточная доза диоксинов для человека как временная величина.

Ключевые слова: гербициды, диоксины, загрязнение, объекты окружающей среды, продукты питания, факторы риска.

Для цитирования: Николаева Л.А., Игнатъева Л.П., Савченков М.Ф. Факторы риска загрязнения окружающей среды диоксинсодержащими соединениями // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 1 (322). С. 39–43. DOI: <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-322-1-39-43>

Risk Factors for Environmental Pollution with Dioxin-Containing Compounds

L.A. Nikolaeva, L.P. Ignatieva, M.F. Savchenkov

Irkutsk State Medical University, 1 Krasnogo Vosstania Street, Irkutsk, 664003, Russian Federation

Abstract: *Introduction.* It has been demonstrated that the use of 2,4-D herbicide contaminates the environment with polychlorinated compounds, including dioxins. Additional risk factors for population health and the environment include climatic conditions of Siberia, processes of translocation of compounds from soil to plants, their ability to reach the human body along trophic chains and to have a toxic effect. *The objective* of this study was to analyze the behavior of the 2,4-D herbicide and dioxins in the environment and to justify health risk factors. *Materials and methods.* We used the method of gas chromatography-mass spectrometry that combines high efficiency of separation of impurities, the possibility of determining their molecular composition, selectivity of recording, and high sensitivity. We used a chromatographic method to determine residual amounts of the 2,4-dichlorophenoxyacetic acid amine salt (2,4-D) in soil, feed, and food of plant and animal origin. The calculation of average and statistical errors of indicators was performed using t-test in MS Excel. *Results.* Contamination of water of open reservoirs of the Irkutsk Region with the 2,4-D herbicide amine salt was found in concentrations as high as 7.7 µg/L with a positive sample count of 49%. In spring and summer, the water of open reservoirs is also polluted. In soils, the 2,4-D amine salt is immobile, concentrated in the surface layer at the level of 0.42–0.37 mg/kg. The maximum total soil concentration of dioxins reached 1,479 ng/kg exceeding the maximum permissible soil concentration of dioxins by 306 times. The maximum concentration of dioxins in feed was found at the end of the growing season (317–322 ng/kg). Dioxins accumulate in fat-containing food; thus, measured dioxin concentrations in butter averaged 680.6 ng/kg demonstrating a 10-fold excess of the permissible level. The estimated daily intake of dioxins with food can be as high as 26.2 pg/kg, which is 2.6 times higher than the permissible daily dose. We conducted the environmental and medico-hygienic analysis of outcomes of using the effective herbicide that poses a serious danger to human health due to the possibility of dioxin formation. We identified risk factors and substantiated the daily dose of dioxins for humans as a temporary value.

Key words: herbicides, dioxins, pollution, environmental media, food, risk factors.

For citation: Nikolaeva L.A., Ignatieva L.P., Savchenkov M.F. Risk Factors for Environmental Pollution with Dioxin-Containing Compounds. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2020; 1(322): 39–43. (In Russian) DOI: <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-322-1-39-43>

Information about the authors: Nikolaeva L.A., <http://orcid.org/0000-0002-2558-2743>; Ignatieva L.P. <http://orcid.org/0000-0002-3945-2018>; Savchenkov M. F. <http://orcid.org/0000-0002-1246-8327>.

Введение. Существенное увеличение объемов производства сельскохозяйственной продукции обеспечивается за счет применения в сельском хозяйстве химических средств защиты растений от вредителей, сорняков, болезней. Наибольшую опасность загрязнения окружающей среды представляют стойкие к воздействию различных факторов пестициды, в том числе хлорорганические, а также широко используе-

мые гербициды группы 2,4-Д. В результате влияния особенных природно-климатических условий гербициды могут одновременно попадать в воду и воздух, почву и продукты питания. Кроме того, эти вещества содержат в своем составе в качестве примесей диоксины и могут являться источником загрязнения объектов природной среды этими токсичными веществами.

При синтезе аминной соли 2,4-Д используется 2,4-дихлорфенол (2,4-ДХФ), реакция проводится при высокой температуре, и образование значительных количеств полихлорированных дибензопарадиоксинов и дибензофуранов (ПХДД и ПХДФ) неизбежно. Это связано с тем, что даже при строгом выдерживании технологического режима содержание продуктов перхлорирования велико, и оно резко возрастает при технологических нарушениях. Анализ технического 2,4-ДХФ, используемого на ПО «Химпром» (Уфа), это подтвердил [1–3]. В сыром продукте были обнаружены многочисленные изомеры и гомологи ПХДД и ПХДФ.

Гербициды группы 2,4-Д как источник диоксинов необходимо рассматривать в двух направлениях: как побочный продукт производства в ходе высокотемпературной технологии при синтезе 2,4-Д и как образования в результате трансформации аминной соли 2,4-Д под воздействием физических факторов природной среды.

Гербициды группы 2,4-Д, а следовательно, и диоксины, обладают некоторыми свойствами функциональной кумуляции в жизнедеятельности организма животных, поэтому их остаточные количества строго регламентируются в объектах окружающей среды [4–6]. Особенно надо учитывать, что соединения такого класса обладают канцерогенным, мутагенным и тератогенным действием [7–10].

Известно, что местом максимального накопления стойких пестицидов является почва, поскольку 50 % внесенных препаратов попадает в нее, а оставшаяся часть продолжает мигрировать в смежные объекты. Основными факторами, определяющими устойчивость пестицидов в почве, являются свойства самого пестицида. Так, степень растворимости в значительной мере обуславливает их персистентность. Поскольку гербициды группы 2,4-Д малорастворимы в воде и обладают малым давлением паров, они в большей степени адсорбируются почвой [11]. Так, 2,4-Д и ее соли в почвенном профиле перемещаются незначительно, в полевых условиях основная масса гербицида остается в поверхностном слое почвы (0–20 см).

По гигиенической классификации производные феноксисулфонной кислоты относятся к умеренно стойким пестицидам. Сама кислота и ее соли при дозах обработки 1–3 кг/га сохраняются в почве 1–2 мес, а при более высоких (2–6 кг/га) – до 4 мес. Разложение гербицидов происходит под влиянием почвенных микроорганизмов, и скорость его зависит от температуры, типа почвы и других многочисленных факторов [2, 12].

Главным биологическим звеном, куда перераспределяются пестициды, являются растительные культуры. Почва остается лишь опосредованным объектом загрязнения, а одним из основных источников поступления пестицидов и диоксинов в организм человека являются продукты питания (до 90 %).

Цель исследования – проанализировать поведение гербицида 2,4-Д и диоксинов в окружающей среде, обосновать факторы риска для здоровья человека.

Материалы и методы. Направления исследований определялись основными задачами

эколого-гигиенического анализа системы «источник – почва – человек». Обязательным условием такого рода исследований является учет природно-климатических факторов, что обеспечивает разработку гигиенического прогноза и управления качеством среды на конкретной территории. Учитывались требования к выбору источников поступления диоксинов, отбору и анализу проб, применяемых в сельском хозяйстве гербицидов, а также региональные особенности.

Для изучения возможной миграции диоксинов в растения при обработке почвы аминной солью 2,4-Д от сорняков выбраны сельскохозяйственные районы Иркутской области (Иркутский, Усольский, Черемховский), использующие этот гербицид.

С целью установления закономерностей процессов миграции и кумуляции диоксинов по биологической цепочке исследовались пищевые продукты и корма. Выполнено 1 462 изомерспецифических анализа на содержание 17 наиболее токсичных изомеров дибензопарадиоксинов и дибензофуранов. Всего исследовано 33 пробы воды, 44 пробы почвы, 12 проб аминной соли 2,4-Д, 38 проб кормов, 43 пробы продуктов питания. Сложность химического состава исследуемых соединений, близость химической структуры изомеров диоксинов, обнаружение их в природных объектах в следовых количествах и трудность выделения из объектов окружающей среды предопределяют высокие требования к методикам и приборам как по чувствительности, так и по селективности обнаружения. В связи с этим в настоящей работе использовался метод хромато-масс-спектрометрии, сочетающий высокую эффективность разделения примесей, возможность однозначного установления их молекулярного состава, селективность регистрации и высокую чувствительность.

Пробы отобранных растительных образцов и почвы на диоксины были проанализированы в сертифицированном Химико-аналитическом центре научно-производственного объединения «Тайфун» по «Методике выполнения измерений массовой концентрации полихлорированных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов в пробах почвы методом хромато-масс-спектрометрии» (ПНД Ф 16.1.7–97, свидетельство № М29/97). Для определения остаточных количеств аминной соли 2,4-Д в почве, кормах и продуктах питания растительного и животного происхождения использовали хроматографический метод^{1,2}. Чувствительность метода газожидкостной хроматографии составила: в почве – 0,01 мг/кг, в траве – 0,02 мг/кг, в сене – 0,1 мг/кг, в молоке – 0,04 мг/л, в сливочном масле – 0,1 мг/кг.

Хроматографирование проводили на газожидкостном хроматографе «Цвет-106». Измеряли на хроматограммах высоты пиков метиловых эфиров 2,4-Д и 2,4,5-Т, вычисляли среднее значение отношений этих высот из параллельных определений и по уравнению калибровочного графика находили содержание аминной соли 2,4-Д. Полученный калибровочный график обрабатывали по методу наименьших квадратов. Расчет средних и статистических ошибок

¹ МУК 4.1.1132–02 «Определение остаточных количеств 2,4-Д в воде, зерне, соломе зерновых культур и зерне кукурузы методом газожидкостной хроматографии».

² МУК 4.1.2666–10 «Методические указания по определению 2,4-Д в воде и почве методом капиллярной газожидкостной хроматографии».

показателей проводили, используя t-критерий из пакета анализа данных программы MS Excel.

Результаты исследования. Проведенные исследования содержания аминной соли 2,4-Д в воде открытых водоемов, расположенных на территории Иркутской области, указали на средние уровни содержания гербицида в водных объектах, равные от 0,0 до 7,7 мкг/л, а число положительных проб достигало 49 % (в воде родников, прудов и озер гербициды не обнаружены). Уровни содержания аминной соли 2,4-Д в реках были значительно выше, чем в остальных водных объектах, и превышали ПДК более чем в 2 раза.

Сезонная динамика загрязнения р. Ангары аминной солью 2,4-Д вызвана тем, что основной вклад в загрязнение реки вносит поверхностный сток с сельскохозяйственных полей, расположенных по долине Ангары, а также ее притоков, в частности, р. Куды, в воде которой максимальные концентрации гербицида в весенний период составили 0,76 мкг/л и летний – 46,0 мкг/л. Повышенные концентрации аминной соли 2,4-Д, равные 0,4 мкг/л, обнаружены также весной и летом в р. Белой.

Разложение 2,4-Д в почве происходит в результате многочисленных процессов – физико-химических, биологических, химических, зависящих, в свою очередь, от многих почвенных и климатических факторов. Степень разложения гербицида в почве обусловлена как свойствами самого препарата, так и свойствами почвы (кислотность, содержание органического вещества, минеральный состав, наличие и активность микрофлоры), а также метеорологическими, климатическими условиями и солнечным излучением.

Главным биологическим звеном, куда перераспределяются гербициды, являются *растительные культуры*, а затем они попадают в организм животных, загрязняя их [11, 15]. Были проведены исследования по определению остаточных количеств аминной соли 2,4-Д в кормах для животных (силос), выращенных в различных сельскохозяйственных районах Иркутской области. Остаточные количества аминной соли 2,4-Д в кормах в большинстве случаев значительно превышали предельно допустимые уровни, только в хозяйстве пос. Оёк содержание гербицида обнаружено на уровне допустимого значения (ПДК – 0,1 мг/кг). Максимальная концентрация гербицида в кор-

мах Черемховского района составила 0,48 мг/кг. Для этой территории характерны почвы с более высоким содержанием органического вещества (выщелоченные черноземы). В таких почвах аминная соль 2,4-Д малоподвижна и концентрируется в поверхностном слое, что приводит к более интенсивному всасыванию гербицида корнями растений. В трех хозяйствах Усольского района уровни содержания остаточных количеств аминной соли 2,4-Д в силосе превышали ПДК в 3 раза.

Для изучения процесса миграции гербицида из почвы в растительные культуры были отобраны пробы многолетних трав и почвы в различные периоды после обработки аминной солью 2,4-Д. Норма расхода составила 12 л/га (по регламенту норма расхода – 4–12 л/га). Материал отбирали через месяц и через 2 месяца после обработки, на следующий год опыт был повторен. Наибольшее содержание 2,4-Д как в первый, так и во второй год обнаружено в кормах через месяц после обработки гербицидом, что составило 0,34 и 0,68 мг/кг соответственно (рис. 1). При этом концентрации 2,4-Д в почве также были максимальны (0,42 и 0,37 мг/кг).

Уменьшение концентрации гербицида в почве происходило одновременно с процессом увеличения содержания аминной соли 2,4-Д в кормах. При постоянной обработке сельскохозяйственных угодий гербицидом происходило увеличение загрязнения им почвы, что привело к значительному накоплению его в растительных кормах даже спустя вегетационный период. Одновременное снижение содержания аминной соли 2,4-Д в почве и кормах на второй месяц после обработки позволяет предположить вероятность процесса трансформации гербицида в более токсичные соединения – диоксины.

Пробы кормов и почвы на содержание диоксинов также отбирались в различные периоды после обработки гербицидом. Анализ результатов показал, что максимальная суммарная концентрация диоксинов в почве достигала 1479,29 нг/кг (в пересчете на диоксиновый эквивалент – 40,7 нг/кг), что превышало ПДК для диоксинов в почве для России, равное 0,133 нг/кг, в 306 раз, и характеризовало ее как очень сильно загрязненную.

Суммарные концентрации диоксинов в растительных культурах изменялись от 2266 до 9235,98 нг/кг (в пересчете на ДЭ соответственно, от 57,99 до 321,9 нг/кг). Анализ изомер-

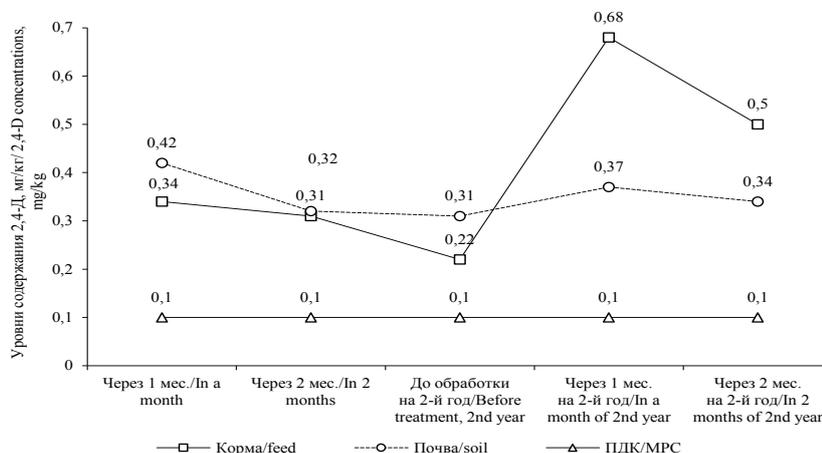


Рис. 1. Динамика изменения содержания аминной соли 2,4-Д в кормах и почве
 Fig. 1. Changes in concentrations of amine salt of 2,4-D in feed and soil

специфического состава идентифицированных соединений в траве показал, что основной вклад в токсичные свойства диоксинов, как и в самую аминную соль 2,4-Д, вносит 2,3,7,8-ТХДФ. По мере накопления диоксинов в траве происходила трансформация тетрахлордибензофурана, его доля в общей массе изомеров диоксинов уменьшалась с одновременным увеличением концентрации суммы ПХДД. Особенно это очевидно после первой обработки гербицидом. На второй год содержание диоксинов в траве превышало концентрации ПХДД и ПХДФ в 3 раза (206,4 и 58 нг/кг соответственно).

Рассматривая динамику накопления диоксинов в кормах (рис. 2), необходимо отметить, что максимальные концентрации их обнаружены в конце вегетационного периода, то есть через 3 месяца после обработки (322 нг/кг в первый год, 317 нг/кг во второй год). Для сравнения взяли изменение содержания остаточных количеств аминной соли 2,4-Д для той же культуры и в тех же условиях опыта. Было выявлено, что накопление диоксинов соответствует одновременному уменьшению обнаруженных концентраций аминной соли.

Для установления допустимых суммарных доз диоксинов, поступающих из окружающей среды и не оказывающих в течение длительного времени влияния на здоровье человека, были проведены исследования уровней загрязнения диоксинами пищевых продуктов, производимых на территории Иркутской области, и изучена степень кумуляции ПХДД и ПХДФ.

Выявлена высокая степень кумуляции высокотоксичных веществ в липоидных образцах. Максимальная суммарная концентрация диоксинов обнаружена в жиросодержащих продуктах. Так, в сливочном масле она составила 680,6 нг/кг, (в ДЭ – 53,62 нг/кг), что превышало допустимый уровень в 10 раз (ПДК – 5,2 нг/кг). В мировой практике, в том числе в России, в качестве критерия опасности для человека используется допустимая суточная доза (ДСД) вещества, характеризующая его биологическую активность с учетом токсических свойств, возможности вызывать побочные эффекты и отдаленные последствия, а также сравнительная чувствительность человека и лабораторных животных [14–16]. Так, ДСД – это максимальная доза вещества в расчете на килограмм массы тела, ежедневное поступление которой в организм человека на протяжении всей его жизни не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнару-

живаемых современными методами исследований, или отрицательно влиять на последующее поколение. Учет суммарной дозы диоксинов, поступающей в организм человека из всех сред (ДФ), и сопоставление ее величины с ДСД для человека являются показателями фактического уровня гигиенической опасности для здоровья населения, или индексом риска.

Расчет возможного поступления диоксинов с продуктами питания проводился исходя из уровней количеств диоксинов в каждом конкретном продукте с учетом его доли в суточной пищевой рации взрослого человека. Общая доза диоксинов, поступающая в организм с пищей, определялась путем суммирования их количества, обнаруженного в отдельных продуктах, составляющих средний рацион питания населения.

Выполненные расчеты суточного поступления диоксинов в организм человека показали, что с весьма ограниченным набором продуктов может поступить доза 26,2 пг/кг в сутки, которая в 2,6 раза превысила ДСД 10 пг/кг, определенную для человека массой 60 кг (на основании рекомендации ВОЗ). При этом с продуктами питания поступает 98,6 % ксенобиотиков, с водой – лишь 1,4 %. Обнаруженные высокие уровни содержания диоксинов в рыбе – до 46 нг/кг – указывали на большую опасность для населения, в рационах которого преобладает рыба.

Природно-климатические особенности Сибири и поведение гербицида 2,4-Д и его производных в окружающей среде может послужить основанием для оценки канцерогенного риска здоровью населения токсического воздействия диоксинсодержащих соединений [11]. Безусловно, для такого заключения важно иметь данные по количественному содержанию и источникам поступления этих веществ в организм. Как интегральный показатель учитывалось отношение фактической дозы к допустимой.

По нашим данным, в условиях Байкальского региона с продуктами питания, содержащими полихлорированные соединения, поступает 98,6 % ксенобиотиков. Причем большей опасности подвергается население, проживающее на о. Байкал, где широко используется в пищу рыба, мясо и жир нерпы [17–19]. Для этих жителей суточное поступление диоксинов в организм составило 293 пг/кг, что в 30 раз превышает допустимое значение. В нашем случае индекс риска, характеризующий кратность превышения фактического поступления диоксинов в организм человека по отношению к допустимой

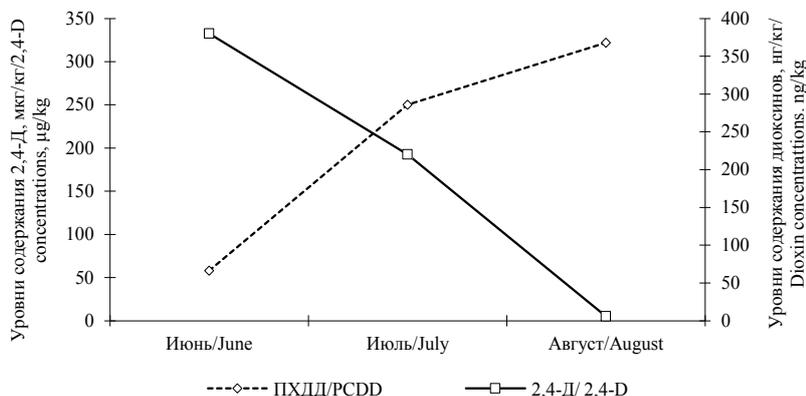


Рис. 2. Динамика изменения содержания 2,4-Д и диоксинов в кормовых культурах
Fig. 2. Changes in 2,4-D and dioxin concentrations in feed crops

дозе из расчета средних концентраций, составил 2,6, что применительно к территории Байкальского региона следует оценивать как потенциально опасный. Расчеты индекса риска на основе максимальных уровней содержания диоксинов в продуктах питания и питьевой воде позволяют оценивать ситуацию в регионе как высокоопасную, что диктует необходимость принятия неотложных профилактических мер. В настоящее время использование аминной соли 2,4-Д рекомендовано ограничивать, поэтому многие хозяйства Иркутской области в качестве гербицидов применяют гексахлорциклогексан (ГХЦГ) или дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и его метаболиты [20].

Выводы

1. При обработке сельскохозяйственных полей аминной солью 2,4-Д происходит загрязнение почвы диоксинами, которое можно охарактеризовать как чрезвычайно опасное. Почва является переходным звеном при миграции диоксинов в системе «гербицид – почва – корма – продукты животноводства – человек».

2. Применение в сельскохозяйственном производстве гербицидов, содержащих в своем составе полихлорированные диоксины, сопровождается их накоплением в растительных культурах. На этом основании можно утверждать, что использование этого гербицида приводит также к устойчивому загрязнению диоксинами не только почв, но и растительных культур.

3. По мере накопления диоксинов в кормовых культурах происходит трансформация аминной соли 2,4-Д в ПХДД и ПХДФ. Уменьшение содержания остаточных количеств гербицида в растениях сопровождается увеличением концентрации диоксинов.

4. На основании проведенных расчетов суточного поступления диоксинов в организм человека могут быть выделены группы риска: население, в суточном рационе которого преобладает рыба и другие продукты животного происхождения.

Список литературы

(пп. 5, 6, 12, 15, 16, 18, 19 см. References)

- Бродский Е.С., Ключев К.А., Жильников В.Г. и др. Определение тетрахлорзамещенных дибензо-*p*-диоксинов, дибензофуранов и родственных соединений в промышленном гербициде 2,4-Д // Журнал аналитической химии. 1992. Т. 47. № 8. С. 1497-1503.
- Игнатъева Л.П., Николаева Л.А., Савченков М.Ф. Диоксины и окружающая среда: эколого-гигиенические исследования в Восточно-Сибирском регионе. Иркутск: ФГБНУ ИНЦХТ, 2015. 240 с.
- Федоров Л.А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы. М.: Наука; 1993. 265 с.
- Румак В.С., Чинь Куок Кхань, Кузнецов А.Н., Софронов Г.А., Павлов Д.С. Воздействие диоксинов на окружающую среду и здоровье человека // Вестник Российской академии наук. 2009. Т. 79. № 2. С. 124-130.
- Горшков А.Г., Кустова О.В., Дзюба Е.В., Захарова Ю.Р., Шишлянников С.М., Хуторянский В.А. Полихлорированные бифенилы в водной экосистеме оз. Байкал // Химия в интересах устойчивого развития. 2017. Т. 15. № 3. С. 269-278.
- Ключев Н.А., Шелепчиков А.А. Проблема загрязнения окружающей среды полихлорированными дибензо-*p*-диоксинами и диоксиноподобными веществами. // Диоксины суперэко-токсиканты XXI века инф. вып. / Под ред. Ю.М. Арского. М.: ВИНТИ, 2000. Вып. 6. С. 5-43.
- Куликова-Хлебникова Е.Н., Робертус Ю.В., Кивацкая А.В., Любимов Р.В. Особенности загрязнения хлороорганическими пестицидами объектов окружающей среды Республики Алтай // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 8 (106). С. 59-63.
- Ракитский В.Н., Илюшина Н.А. Ревазова Ю.А. Современные методические подходы в оценке мутагенности пестицидов // Гигиена и санитария. 2017. № 11 (96). С. 1017-1020.
- Майстренко В.Н., Ключев Н.А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. М.: БИНОМ, 2004. 323 с.
- Ракитский В.Н., Федорова Н.Е., Байушева В.В., Егорченкова О.Е., Бондарева Л.Г. Определение 2,4-Д отдельных пищевых продуктах (молоко, яйца, печень, почки) хроматографическими методами // Токсикологический вестник. 2018. № 1. С. 20-25.
- Нажметдинова А.Ш., Сарманбетова Г.К. Оценка риска при воздействии стойких органических загрязнителей (СОЗ) и тяжелых металлов на население Приаралья // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 6. С. 127.
- Мамонтова Е.А. Гигиеническая оценка загрязнения диоксинами и родственными соединениями окружающей среды Иркутской области. Новосибирск: СО РАН, филиал «Гео», 2001. 141 с.
- Ежегодник «Состояние загрязнения пестицидами объектов природной среды Российской Федерации в 2015 году». Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2016. 72 с.

References

- Brodsky ES, Klyuev KA, Zhilnikov VG, et al. Determination of tetrachloro-substituted dibenzo-*p*-dioxins, dibenzofurans and related compounds in the industrial herbicide 2,4-D. *Journal of Analytical Chemistry*. 1992; 47(8):1497-1503. (In Russian).
- Ignatieva LP, Nikolaeva LA, Savchenkov MF. Dioxins and the environment: ecological and hygienic studies in the East Siberian region. Irkutsk: FGBNU INTST Publ., 2015. 242 p. (In Russian).
- Fedorov LA. Dioxins as an environmental hazard: a retrospective and prospects. Moscow: Nauka Publ., 1993. 265 p. (In Russian).
- Rumak VS, Chin Kuok Khan, Kuznetsov AN, et al. The impact of dioxins on the environment and human health. *Vestnik Rossijskoi akademii nauk*. 2009; 79(2):124-130. (In Russian).
- Iwata H, Tanabe S, Ueda K, et al. Persistent organochlorine residues in air, water, sediments, and soil from the Lake Baikal Region, Russia. *Environ Sci Technol*. 1995; 29(3):792-801.
- Olson JR, MacCarrlgle BP, Gigliotti PS, et al. Hepatic uptake and metabolism of TCDD and TCDF. *Fundam Appl Toxicol*. 1994; 22:631-640.
- Gorshkov AG, Kustova OV, Dzyuba EV, et al. Polychlorinated biphenyls in the aquatic ecosystem of the lake. Baikal. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2017; 3(15):269-278. (In Russian).
- Klyuev NA, Shelepchikov AA. Problems of environmental pollution by polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dioxin-like substances. *Dioksiny superekotoksikanty XXI veka Bulletin*. Moscow: VINITI Publ., 2001; Issue 6, p. 5-43. (In Russian).
- Kulikova-Khlebnikova EN, Robertus YuV, Kivatskaya AV, et al. Features of pollution with organochlorine pesticides of environmental objects of the Republic of Altai. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2013; 106(8):59-63. (In Russian).
- Rakitsky VN, Ilyushina NA, Revazova YuA. Modern methodological approaches in the assessment of pesticide mutagenicity. *Gigiya i Sanitariya*. 2017; 96(11):1017-1020. (In Russian).
- Maystrenko VN, Klyuev NA. Ecological and analytical monitoring of persistent organic pollutants. Moscow: BINOM Publ., 2004. 323 p. (In Russian).
- AMAP. 1998. AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. 1998. 859 p.
- Rakitsky VN, Fedorova NE, Bayusheva VV, et al. Determination of 2,4-D in certain food products (milk, eggs, liver, kidneys) by chromatographic methods. *Toksikologicheskii vestnik*. 2018; 1:20-25. (In Russian).
- Nazhmetdinova ASH, Sarmanbetova GK. Risk assessment of exposure to persistent organic pollutants (POPs) and heavy metals on the population of the Aral Sea region. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2016; 6:127. (In Russian).
- IARC (Intl. Agency for Research on Cancer). Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and polychlorinated dibenzofurans. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risks for humans. Vol. 69, Lyon, 1997.
- Schlatter L. Data on kinetics of PCDDs and PCDFs as prerequisite for human risk assessment. *Biological Basis for risk assessment of dioxins and related compounds. Banbury Report. Cold Spring Harbor Lab*. 1991. Vol. 35. P. 215-228.
- Mamonтова EA. Hygienic assessment of pollution by dioxins and related environmental compounds of the Irkutsk region. Novosibirsk: SB RAS, Geo branch, 2001. 141 p. (In Russian).
- Fangstrom B, Strid A, Athanssiadis I, et al. A retrospective time trend study of PBDEs and PCBs in human milk from the Faroe Islands. *Organohalogen compounds*. 2004; 66:2795-9.
- Nakata H, Tanabe S, Tatsukawa R, et al. Persistent organochlorine residues and their accumulation kinetics in Baikal seal (*Phoca sibirica*) from Lake Baikal, Russia. *Environ Sci Technol*. 1995; 29:2877-2885.
- Yearbook «The state of pollution by pesticides of the environment of the Russian Federation in 2015». Obninsk: FGBU VNIIGMI-WDC Publ., 2016. 72 p. (In Russian).

Контактная информация:

Николаева Людмила Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры общей гигиены ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава РФ
e-mail: nla38@mail.ru

Corresponding author:

Ludmila Nikolaeva, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of General Hygiene, Irkutsk State Medical University
e-mail: nla38@mail.ru