



Ревич Б.А.

## Биомониторинг металлов в биологических тканях жителей Арктического макрорегиона (обзор литературы)

ФГБУН «Институт народнохозяйственного прогнозирования» Российской академии наук, 117418, Москва, Россия

В обзоре литературы представлены основные положения биомониторинга трёх самых распространённых в окружающей среде арктической территории металлов — свинца, ртути и никеля. Для этих металлов в различных странах разработаны рекомендации по их пороговым значениям в биологических тканях человека в зависимости от возраста и других показателей. Наиболее информативны для свинца кровь, волосы; для ртути — кровь, волосы и моча; для никеля — кровь. Организация биомониторинга этих металлов необходима на жилых территориях вблизи металлургических производств на Кольском полуострове, в Норильском промышленном районе, в золотоносных районах Якутии. Существенной проблемой в Арктическом макрорегионе стало повышенное содержание ртути в рыбе, которую постоянно потребляют жители прибрежных территорий, в том числе коренные малочисленные народы Севера. Выявлено повышенное содержание ртути по сравнению с максимально допустимым уровнем в тканях пресноводных рыб из водоёмов Мурманской области, ряда рек Республики Саха (Якутия) и других северных рек. Оценка риска для здоровья населения при поступлении такой загрязнённой рыбы пока не проведена, но на основании исследований в других регионах страны можно ожидать повышенных рисков. Представляются весьма интересными предложения биологов о нормировании ртути в мышцах рыб в зависимости от её жирности, что важно для здоровья населения, постоянно использующего эти пищевые продукты. В настоящее время некоторые страны ввели рекомендации о частоте потребления рыбы в месяц в зависимости от её вида и места улова.

**Ключевые слова:** Арктика; биомониторинг; ртуть; свинец; никель; здоровье; коренные малочисленные народы Севера; пищевые продукты; Кольский полуостров; Норильск; Республика Саха (Якутия)

**Для цитирования:** Ревич Б.А. Биомониторинг металлов в биологических тканях жителей Арктического макрорегиона (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2022; 101(1): 41-46. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-1-41-46>

**Для корреспонденции:** Ревич Борис Александрович, доктор мед. наук, профессор, гл. науч. сотр. и зав. лаб. прогнозирования качества окружающей среды и здоровья населения ИНИ РАН. E-mail: [brevich@yandex.ru](mailto:brevich@yandex.ru)

**Конфликт интересов.** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование поддержано грантом Российского научного фонда № 22-28-01049.

Поступила: 10.01.2021 / Принята к печати: 25.11.2021 / Опубликовано: 09.02.2022

Boris A. Revich

## Biomonitoring of metals in the biological media of the inhabitants of the Arctic macroregion (literature review)

Institute of Economic Forecasting, Moscow, 117418, Russian Federation

This literature review summarises the basic principles of biomonitoring of lead, mercury and nickel, the most common metallic pollutants in the Arctic. Various countries have developed recommendations for threshold values of these metals in the biological media of humans depending upon age and other personal characteristics. The most informative biological media are blood and hair for lead; blood, hair and urine for mercury; blood for a nickel. Biological monitoring of these metals is particularly needed in the settlements near the metal plants of Kola Peninsula, in the Norilsk industrial area and the gold-mining districts of Yakutia. High levels of lead in fish have become a paramount public health concern in the Arctic because fish is typical food for local populations of the coastal areas, especially for the indigenous minorities of the North. Lead concentrations in the tissues of freshwater fish caught in many rivers of the Murmansk region, Republic Sakha (Yakutia) and other northern regions frequently exceeded the threshold values. Health risks arising from the consumption of contaminated fish have not been assessed in the Arctic, but the studies conducted elsewhere indicated considerable risks. Some biologists have proposed establishing maximum permissible levels of lead in fish muscles relative to its fat content, which could be necessary for the health of those who depend upon this source of food. Several countries have issued recommendations for maximum monthly consumption of certain species of fish harvested in specific water reservoirs.

**Keywords:** Arctic; biomonitoring; mercury; lead; nickel; health; indigenous peoples of the North; food; Kola Peninsula; Norilsk; Yakutia; review

**For citation:** Revich B.A. Biomonitoring of metals in the biological media of the inhabitants of the Arctic macroregion (literature review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(1): 41-46. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-1-41-46> (In Russian)

**For correspondence:** Boris A. Revich, MD, PhD, DSci., Professor, Head of the Environment Quality and Public Health Laboratory, Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 117418, Russian Federation. E-mail: [brevich@yandex.ru](mailto:brevich@yandex.ru)

**Information about the author:** Revich B.A., <https://orcid.org/0000-0002-7528-6643>

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

**Acknowledgement.** The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-28-01049.

Received: January 10, 2021 / Accepted: November 25, 2021 / Published: February 09, 2022

В Арктическом макрорегионе примерно 1 млн человек проживают на территориях, где расположены металлургические производства, горно-обогатительные комбинаты (ГОК) и другие производства, выбросы которых привели к загрязнению окружающей среды. У части населения, преимущественно коренных малочисленных народов Севера (КМНС), в питании присутствует пресноводная и морская рыба с повышенным содержанием металлов. Одним из наиболее доказательных инструментов проникновения в организм человека и накопления в нём химических веществ является биологический мониторинг различных диагностических образцов крови, мочи, волос человека. С гигиенических позиций наиболее значимы результаты таких исследований, доказывающих зависимости между уровнем содержания того или иного вещества в организме человека со специфическими изменениями здоровья. Кроме того, они важны для обоснования введения определённых ограничений на локальном, страновом и глобальном уровнях. Например, результаты многочисленных многоцентровых исследований нарушений нервно-психического статуса детей с повышенным содержанием свинца в крови послужили одним из основных обоснований запрета использования свинецсодержащего этилированного бензина. Методы биомониторинга также широко применяются как способ доказательства воздействия стойких органических загрязнителей (СОЗ) на здоровье населения, особенно после принятия Стокгольмской международной конвенции о запрете производства и использования этих веществ. Глобальная опасность распространения в окружающей среде ртути и её органических соединений, опасность этих веществ для здоровья населения и экосистем обусловили создание ещё одной международной конвенции — Минаматской, подписанной и ратифицированной Российской Федерацией.

Для Арктического макрорегиона загрязнение окружающей среды и пищевых продуктов металлами является весьма существенной проблемой. Расположение на арктических и приарктических территориях металлургических и горнорудных предприятий, аффинажных производств, скопление в портах большого числа различной техники, трансформаторов, содержащих СОЗ; сотни затопленных кораблей (более 100 только в Кольском заливе Баренцева моря) вызывают тревогу как в связи с возможным локальным загрязнением различных компонентов окружающей среды, так и с попаданием загрязняющих веществ в водные системы, накоплением их в донных отложениях. На Кольском полуострове поступление в окружающую среду металлов от металлургических производств привело к их накоплению в пищевых продуктах: озёрной рыбе, ягодах, грибах, некоторых овощах [1]. На других арктических территориях — ЯНАО и Чукотке — превышены риски для здоровья при использовании воды с повышенным содержанием в ней свинца, хрома, мышьяка [2]. Есть предположение, что ещё одним источником поступления ртути в окружающую среду являются процессы разрушения вечной мерзлоты в результате потепления климата.

Анализ ежегодных докладов территориальных управлений Роспотребнадзора о санитарно-эпидемиологическом благополучии на арктических территориях, кроме Республики Саха (Якутия), показывает практически полное отсутствие данных о содержании ртути и других металлов в источниках питьевого водоснабжения и пищевых продуктах. Однако опубликованы данные о том, что в водах реки Алдан, используемой для питьевого водоснабжения, ПДК меди и ртути превышены на 56–86%<sup>1</sup>, а в тканях рыб из водоёмов Якутии, находящихся на золотоносных территориях, содержание ртути превышает допустимые уровни до 3 раз [3]. Многолетние выбросы металлов привели также к загрязнению ими грибов, диких и садовых ягод, картофеля, а также

озёрной рыбы. В грибах и ягодах превышен допустимый уровень содержания кадмия, никеля, ртути, в рыбе концентрации ртути выше фоновых значений, хотя пока не достигают нормативных величин. Однако, по мнению авторов этого исследования, наиболее высоки риски для здоровья при употреблении пищевых продуктов с повышенным содержанием никеля [1].

Развитие новых горнодобывающих предприятий на Чукотке (Баймский горно-обогатительный комбинат для добычи меди и золота), создание ГОК на Новой Земле (свинцово-цинковые руды), разработка месторождений свинца и ртути, меди и других металлов в Якутии [4] свидетельствуют о необходимости развития системы гигиенического контроля, включая определение содержания ртути, свинца, кадмия, никеля и других токсичных металлов как в местных пищевых продуктах, в том числе морепродуктах, так и в организме человека. В ближайшие годы из-за потепления климата ожидается расширение рыбного промысла в Чукотском и Карском морях, но данные о содержании металлов в морской воде и рыбе неизвестны. Серьёзность этой проблемы подтверждают результаты многолетних исследований металлов — свинца, меди, никеля, цинка и других — в воде, рыбе, водорослях и иных компонентах биоты Тихого океана в Приморском крае [5–7].

Рассмотрим наиболее токсичные и распространённые в Арктическом макрорегионе металлы, в отношении которых необходима организация биомониторинга.

## Ртуть

Ртуть — металл, токсичные свойства которого известны со времён Гипократа, — стала объектом особого внимания после трагедии в небольшом приморском городке Японии Минамата. В 50-е годы прошлого века у его жителей возникли нарушения зрения (концентрическое сужение полей зрения), слуха (тугоухость), проявились экстрапирамидные симптомы (мышечная ригидность, непроизвольные движения), небольшой интеллектуальный дефект и эмоциональная неустойчивость. При вскрытии умерших были обнаружены признаки токсической энцефалопатии без признаков воспаления. Причиной заболеваний стало употребление в пищу рыбы, которая составляла значительную часть рациона местного населения. Эта рыба и другие морепродукты содержали значительные количества токсичной метилртути. В дальнейшем у детей в семьях рыбаков стали диагностировать врождённые пороки развития, и по специфическим поражениям стало понятно, что это последствия интоксикации метилртутью. Этот супертоксикант образуется после прохождения процесса метилирования ртути в морских живых организмах, а источник ртути — сточные воды производства химических удобрений и реактивов.

Международную Минаматскую конвенцию ООН о запрете производства, оборота и применения ртути Российская Федерация ратифицировала в 2017 г. Впоследствии был подготовлен обзор о поступлении ртути в окружающую среду с территории Российской Федерации, однако исследования воздействия ртути на здоровье населения по-прежнему весьма немногочисленны, хотя число таких работ постоянно возрастает. По данным PubMed, только по поиску «ртуть в волосах» опубликовано более 1600 статей. Так, важной новацией стало массовое определение наиболее токсичного органического соединения ртути — метилртути — в волосах населения [8].

Наиболее опасны органические соединения ртути (метил-, этил-), которые приводят к нарушениям белкового обмена. Повышенные концентрации ртути и её соединений в организме человека в большинстве случаев связаны с наличием в рационе питания рыбы и морепродуктов, что характерно как для КМНС, так и для жителей территорий вблизи арктических морей и других водных систем. Исследование содержания ртути в крови и/или волосах уже многие годы используется для оценки её воздействия на здоровье насе-

<sup>1</sup> Краткий государственный доклад об экологической ситуации в Республике Саха (Якутия) за 2018 год. Доступно: <https://minpriroda.sakha.gov.ru> (дата обращения: 05.12.2020 г.).

**Пороговые уровни содержания ртути в биологических образцах человека [10]****Threshold levels of mercury content in human biological samples [10]**

Биологические ткани человека Human biological tissues	Группа населения Population groups	Биологические «ПДК» Biological "MAC"	Источник Reference
Волосы Hair	Беременные / Pregnant	1.0 мкг/г (µg/g) 5.0 мкг/г (µg/g)	[15]
	Дети и взрослые / Children and adults	1.9 мкг/г (µg/g)	[16]
Пуповинная кровь / кровь Umbilical cord blood / blood	Беременные женщины, дети и взрослые Pregnant, children and adults	15 мкг/л (µg/L)	[17]
	Лица, работающие на ртутном производстве или имеющие контакт с ртутью Those working in a mercury plant or in contact with mercury	50–60 мкг/л (µg/L)	[18]
Моча Urine	Дети и взрослые Children and adults	25 мкг/л (или 20 мкг/г креатинина) 25 µg/L (or 20 µg/g creatinine)	[17]
	Лица, работающие на ртутном производстве или имеющие контакт с ртутью Persons working in a mercury plant or in contact with mercury	35 мкг/г креатинина 35 µg/g creatinine	[18]

ления, в том числе таких его групп повышенного риска, как беременные женщины [9–13]. Крайне важно, что результаты этих исследований сравнивали с пороговыми (предельно допустимыми) значениями, которые составляют в волосах 1 мкг/г сухого веса. Такие значения приняты Агентством по окружающей среде США [14] и соответствующими ведомствами в других странах. Ниже приведены эти биологические ПДК содержания ртути в диагностических образцах организма человека (см. таблицу).

Допустимый уровень содержания ртути в волосах лиц, работающих на ртутных производствах или имеющих контакт с этим металлом, выше, чем в общих группах населения, а наиболее жёсткие нормативы, учитывая способность ртути проходить через плацентарный барьер, установлены для беременных и детей.

При организации биомониторинга ртути в Арктическом макрорегионе целесообразно использовать опыт предыдущих работ на других российских территориях, учитывая, что в них использованы рекомендации ВОЗ и современные аналитические методы. Одна из таких работ – исследование И.Н. Ильченко и соавт. [10] в Московской области – включало определение ртути в организме рожениц, анализ некоторых показателей их здоровья, которые могут быть связаны с воздействием ртути, а также опрос этих женщин для получения информации о профессии, условиях проживания, акушерско-гинекологическом анамнезе и по другим вопросам, рекомендуемым Европейским бюро ВОЗ именно для исследований этой направленности. Среднее содержание ртути в волосах 120 рожениц из 6 родильных домов Московской области составило 0,25 мкг/г, то есть превышения допустимого уровня ртути в волосах (1 мкг/г) обнаружено не было. Дизайн этого проекта можно рекомендовать и для организации мониторинга в Арктическом макрорегионе.

Второе исследование проблемы в городе Череповце включало определение ртути в волосах и моче 70 женщин, а также широкий комплекс биохимических и гематологических исследований. Концентрации ртути в волосах женщин не превышали указанных в таблице нормативов, то есть находились в диапазоне 0,1–1,7 мкг/г. Биохимические и гематологические показатели у большинства женщин были в пределах нормы, но при содержании ртути в волосах выше 0,5 мкг/г наблюдалось статистически значимое увеличение мочевой кислоты, креатинина и креатинкиназы, что авторы трактуют как реакцию организма на воздействие ртути [13]. К сожалению, в публикации отсутствует информация о возможных путях поступления ртути в организм женщин: связано ли это с поступлением ртутьсодержащих пищевых продуктов или путь был аэрогенным.

Третье исследование ртути в волосах населения выполнено в районе Волгограда, расположенном вблизи предпри-

ятия, использующего в технологическом процессе ртуть. Здесь обнаружены наиболее высокие уровни содержания ртути в волосах – 1,93 мкг/г, и у 67% обследованных был превышен допустимый уровень 1 мкг/г. В этой группе особенно высоки концентрации ртути были у людей, чаще других употреблявших рыбу [19].

Четвёртое исследование ртути в волосах большой когорты взрослых людей (1153 чел.), проведённое в Санкт-Петербурге, где отсутствуют мощные источники выбросов ртути, позволило определить средний показатель, составивший в среднем  $0,75 \pm 0,25$  мкг/г при медианном значении 0,51 мкг/г. Это соответствует референтным значениям и может использоваться как значение для населения городов, в том числе и в Арктике. Анализ распределения ртути в волосах людей различных половозрастных групп выявил наибольшие значения у мужчин старше 30 лет [20].

Непосредственно в Арктическом макрорегионе определение ртути в различных биологических средах населения проводится более 20 лет. В первой публикации результатов таких работ указано среднее содержание ртути в волосах рожениц Норильска и Салехарда – 3,1 мкг/г [21], что значительно выше, чем у рожениц Московской области и других обследованных групп населения. Однако следует заметить, что столь значительная разница, возможно, вызвана разными методами определения ртути. Кроме того, в этой работе, проведённой более 20 лет назад, не использовали стандартизованный вопросник ВОЗ, что снизило достоверность полученных результатов. В последующие годы в рамках Международной программы арктического мониторинга проводилось определение ртути в крови коренных народов, проживающих в северных районах Республики Коми. В пуповинной крови содержание ртути превышало рекомендуемый допустимый уровень в крови беременных женщин – 1 мкг/л, особенно среди обследованных лиц, постоянно использовавших рыбу в пищевом рационе [22].

Основной риск для здоровья представляет пероральный путь поступления метилртути с рыбой и другими морепродуктами, причём в 2008 г. опубликован совместный доклад двух международных организаций ООН – Программы по окружающей среде (ЮНЕП) и ВОЗ, в котором приведены рекомендации по пересчёту содержания ртути в рыбе на наиболее токсичную метилртуть [23]. На основе результатов токсикологических исследований ртути и эпидемиологических работ установлены максимальные допустимые уровни содержания ртути в пищевых продуктах и допустимые суточные показатели её поступления в организм человека. Технический регламент Таможенного союза ЕАЭС установил нормативы содержания ртути в мышечной ткани для всех видов рыбной продукции и для мяса морских млекопитающих, в том числе для сушёной продукции, на уровне 0,3 мкг/г для

пресноводной нехищной рыбы; пресноводной рыбы хищных видов — 0,6 и 0,5 мкг/г; морской рыбы, печени рыб и продуктов из неё — 0,5 мкг/г; рыбьего жира — 0,3 мкг/г; для мяса, мясных и мясосодержащих продуктов норматив составляет 0,5 мг/кг сырого веса [24].

В Мурманской области определение ртути в организме рыб различных видов в более чем 50 водоёмах показало значительное содержание металла, превышающее величины 0,5 мкг/г сырого веса, причём видна тенденция к накоплению ртути [25].

Более высокие уровни ртути (0,7 мкг/г) обнаружены в сибирской плотве, наиболее употребляемой населением Якутии, из бассейнов рек Вилюй и Индигирка [26]. Важно также учитывать и виды рыб. Так, окуни-бенитофаги накапливают металлы в более высоких концентрациях по сравнению с плотвой.

Ряд исследований ртути проведён в рыбе из озера Ханка на Дальнем Востоке, из Верхней и Средней Оби, других водоёмов. Содержание ртути в различных видах рыбы из озера Ханка превышает допустимый уровень до 2 раз [27, 28]. В этих регионах, к сожалению, не проведена оценка риска для здоровья населения при использовании такой рыбы, но определённое понимание результатов экспозиции ртути, поступающей с пищевыми продуктами, дают результаты исследования неканцерогенного риска для здоровья детского населения Казани [29]. Для оценки риска в этой работе использовали референтные концентрации, приведённые в Руководстве Роспотребнадзора [30] и в указанных выше рекомендациях ЮНЕП и ВОЗ [23]. Коэффициент опасности по ртути на уровне 95%-го перцентиля был выше референтного значения, равного 1, и по метилртути превысил значение 3, что свидетельствует о среднем значении риска. Можно предположить, что на арктических территориях, где отмечено превышение содержания ртути в рыбе, морепродуктах и морских животных (тюлень и др.), риски для здоровья населения более существенны.

## Свинец

Содержание этого металла в окружающей среде Арктической зоны не представляет столь выраженной опасности для здоровья, как содержание ртути. Однако возможны локальные проблемы вблизи металлургических производств на Кольском полуострове, в Норильске, на Шпицбергене и в других местах, следовательно, необходимо определение свинца в атмосферном воздухе и почве населённых мест. В качестве группового показателя воздействия свинца рекомендуется его определение в волосах детей: таким образом была проведена оценка экспозиции в Москве, Подольске, Курске, Владикавказе и других городах. Для более точной индивидуальной оценки экспозиции необходимо определение свинца в крови детей. На основании изучения воздействия свинца на психоневрологический статус детей, определения IQ в рамках многолетних национальных исследований в США и других странах разработана шкала оценки опасности содержания свинца в крови детей. Результаты психоневрологического обследования сотен тысяч детей в различных странах мира позволили определить пороговое значение свинца в крови, равное 10 мкг/100 мл. Было установлено, что его повышение на 1 мкг/100 мл ведёт к снижению интеллектуального развития ребёнка. На основе этих исследований разработана шкала оценки содержания свинца в крови детей, она используется в различных странах мира более 20 лет и рекомендована ВОЗ [31], но до сих пор в России отсутствуют официальные документы по её применению.

Основные положения по биомониторингу свинца изложены нами более 30 лет назад [32, 33]. Конечно, за прошедшие годы усовершенствованы методы исследования содержания свинца в крови и волосах, повышена чувствительность метода его определения. Результаты изучения свинца в биологических средах детей из различных городов страны отражены в предыдущей публикации [33]. Крайне

важно, что в России разработана программа снижения содержания свинца в крови детей с использованием методов биопрофилактики, и она внедрена в различных городах Свердловской области [34]. В последние годы появились исследования, свидетельствующие о необходимости исследования свинца в домашней пыли, так как нахождение маленьких детей в таких помещениях приводит к повышению содержания этого металла в крови [35].

Несмотря на достаточно подробное изучение нейротоксикологии свинца, постоянно появляются новые эпидемиологические данные о его токсичности. Возможно, выраженный стресс приводит к повышению содержания глюкокортикоидов и при одновременном воздействии свинца способствует повышению уровня многих заболеваний и дисфункций в группах населения с низким социально-экономическим статусом [36]. Накопленный методический опыт по определению свинца в крови детей в Москве, Санкт-Петербурге, Свердловской области, Приморском крае и на других территориях, а также разработанная профессором Б.А. Кацнельсоном и его коллегами система биопрофилактики могут быть использованы при организации биомониторинга содержания свинца в крови детей в арктических населённых пунктах.

## Никель

В Арктике более 250 тыс. человек (181,6 тыс. в Норильске и 70 тыс. на Кольском полуострове — Мончегорск, пос. Никель и пос. Заполярный) подвергаются воздействию канцерогенного риска при ингаляционном поступлении никеля. За последние 10 лет информация о содержании никеля в атмосферном воздухе и других компонентах окружающей среды в этих населённых пунктах практически отсутствует. Никель также может поступать в окружающую среду при разработке месторождений редкоземельных металлов. В соответствии с имеющимися данными, с высокими концентрациями никеля связана повышенная заболеваемость населения Норильска раком лёгкого [37–39]. Накопление токсичных металлов в организме жителей этого города доказано при анализе зольного остатка организма человека [40], но гигиеническая оценка ситуации отсутствует, поэтому необходимо исследование никеля в диагностических средах — моче и крови.

Повышенные концентрации никеля также обнаружены в источниках питьевого водоснабжения и в местных пищевых продуктах на Кольском полуострове<sup>2</sup> [41].

В крови долганов — коренных народов Севера, проживающих в Анабарском улусе на севере Якутии вблизи месторождения редкоземельных металлов, — содержание никеля и некоторых других металлов превышает фоновые значения и, как считают авторы исследования, может повлиять на развитие заболеваний сердечно-сосудистой системы коренных жителей при разработке руды открытым способом [42].

Зарубежные исследователи [43] считают, что в домах населения, проживающего на территории с повышенным содержанием никеля в окружающей среде, необходимо исследование этого металла в домашней пыли, так как этот путь поступления никеля в организм маленьких детей весьма существенен, и возможен канцерогенный эффект.

В качестве биоиндикаторов воздействия никеля используются моча [44], кровь или волосы. Содержание никеля в крови не должно превышать 15 мкг/л, и эта величина использовалась как пороговая при обследовании взрослого населения индустриальной территории в Северной Франции [45]. При оценке состояния здоровья населения, проживающего вблизи никелевых производств на Кольском полуострове или в Норильске, возможно использование данного порогового

<sup>2</sup> Материалы для государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Мурманской области в 2018 году». Доступно: <https://51.rospotrebнадzor> (дата обращения: 21.09.2019 г.).

значения. Для детей рекомендуется проводить определение никеля в волосах и результаты сравнивать со значениями, полученными в контрольной группе [46].

## Заключение

В Арктическом макрорегионе систему биомониторинга металлов в диагностических биологических средах необходимо организовывать по нескольким направлениям:

- ртути — на приморских территориях, на территориях вблизи рек и озёр, где население постоянно употребляет

ет в пищу морепродукты, мясо морских животных, пресноводную рыбу; на золотосодержащих территориях Якутии и других регионов, таких как Чукотка;

- никеля и свинца — на территориях населённых пунктов вблизи металлургических производств Кольского полуострова, Норильского промышленного района; в местах, где планируется строительство новых горнодобывающих и металлургических производств (Республика Саха (Якутия), Магаданская область, о. Шпицберген);
- ртути, свинца и никеля — в местах проживания коренных малочисленных народов Севера.

## Литература

(п.п. 8, 9, 14–18, 21–23, 31, 36, 42–46 см. Reference)

1. Дударев А.А., Душкина Е.В., Чухахин В.С., Сладкова Ю.Н., Бутова Д.В., Гушин И.В. и др. Содержание металлов в местных продуктах питания Печенгского района. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; (2): 35–40.
2. Ковшов А.А., Новикова Ю.А., Федоров В.Н., Тихонова Н.А. Оценка рисков нарушений здоровья, связанных с качеством питьевой воды, в городских округах Арктической зоны Российской Федерации. *Вестник Уральской медицинской академической науки*. 2019; 16(2): 215–22. <https://doi.org/10.22138/2500-0918-2019-16-2-215-222>
3. Тяптиргьянов М.М., Тяптиргьянова В.М. Эколого-гигиеническая оценка накопления ртути в органах и тканях пресноводных рыб Якутии. *Якутский медицинский журнал*. 2015; (1): 34–8.
4. Степанько Н.Г., Степанькова А.А., Ткаченко Г.Г. Возможные экологические последствия экономического развития северных территорий Дальнего Востока России. *Арктика: экология и экономика*. 2018; (1): 26–3488. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2018-1-26-36>
5. Кобзарь А.Д., Христофорова Н.К. Мониторинг загрязнения бухты Рудная (Японское море) по содержанию тяжелых металлов в бурых водорослях. *Биология моря*. 2019; 45(2): 133–40. <https://doi.org/10.1134/S0134347519020049>
6. Христофорова Н.К., Гамаюнова О.А., Афанасьев А.П. Состояние бухт Козьмина и Врангеля (залив Петра Великого, Японское море): динамика загрязнения тяжелыми металлами. *Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра)*. 2015; 180: 179–86. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2015-180-179-186>
7. Шулькин В.М., Чернова Е.Н., Христофорова Н.К., Коженкова С.И. Влияние горно-рудной деятельности на изменение химического состава компонентов водных экосистем. *Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2014; (6): 483–94.
8. Ильченко И.Н. Обзор исследований по оценке воздействия ртути на население в постсоветских странах с использованием данных биомониторинга человека. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2015; 59(1): 48–53.
9. Таций Ю.Г. О возможности использования волос в качестве биоиндикатора загрязнения окружающей среды ртутью. *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*. 2013; (12): 158–64.
10. Егоров А.И., Ильченко И.Н., Ляпунов С.М., Марочкина Е.Б., Окнина О.И., Ермолаев Б.В. и др. Применение стандартизированной методологии биомониторинга человека для оценки пренатальной экспозиции к ртути. *Гигиена и санитария*. 2014; 93(5): 10–8.
11. Шувалова О.П., Иванова Е.С., Комов В.Г. Влияние накопления ртути на состояние здоровья женщин репродуктивного возраста. *Здоровье населения и среда обитания*. 2018; (11): 36–9.
12. Хлор-щелочное производство: предприятие «Каустик» в Волгограде — горячая точка ртутного загрязнения в России; 2013. Доступно: [https://ipen.org/hgmonitoring/pdfs/russian\\_fish\\_and\\_hair\\_report-ru.pdf](https://ipen.org/hgmonitoring/pdfs/russian_fish_and_hair_report-ru.pdf)
13. Малов А.М., Луковникова Л.В., Аликбаева Л.А., Якубова И.Ш., Щеголихин Д.К. Результаты биомониторинга ртутного загрязнения территории мегаполиса. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(12): 1189–94. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-12-1189-1194>
14. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», Приложение 3. «Рыба, нерыбные объекты промысла и продукты, вырабатываемые из них».
15. Терентьев П.М., Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Королева И.М. Накопление ртути в тканях рыб водоемов Мурманской области и районов Норвегии и приграничных районов Норвегии и Финляндии. *Труды Фермановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. 2018; (15): 509–12. <https://doi.org/10.31241/FNS.2018.15.130>
16. Крамар К.В., Кыров Д.Н. Содержание ртути в органах и тканях рыб. *Символ науки*. 2017; 3(4): 18–21.
17. Попов П.А., Андросова Н.В., Попов В.А. Характер накопления ртути в рыбах реки Оби. *Российский журнал прикладной экологии*. 2019; (4): 51–6.
18. Лучшева Л.Н., Ковкевдова Л.Т., Назаров В.А. Содержание ртути в промысловых видах рыб озера Ханка. *Известия Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра*. 2000; 127–2: 559–68.
19. Фомина С.Ф., Степанова Н.В. Неканцерогенный риск для здоровья населения г. Казани, обусловленный загрязнением пищевой продукции и сырья. *Анализ риска здоровью*. 2017; (4): 42–8. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.4.04>
20. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: 2004.
21. Ревич Б.А. Гигиеническая оценка содержания некоторых химических элементов в биосубстратах человека. *Гигиена и санитария*. 1986; 65(7): 59–62.
22. Ревич Б.А. Свинец в биосубстратах жителей промышленных городов. *Гигиена и санитария*. 1990; 69(3): 28–32.
23. Ревич Б.А., Шаров П.О., Сергеев В.В. Свинец и здоровье детей — результаты некоторых российских исследований 2000–2009. *Гигиена и санитария*. 2011; 90(6): 12–6.
24. Привалова Л.И., Кашнелсон Б.А., Кузьмин С.В., Гурвич В.Б., Малых О.Л., Воронин С.А. и др. О влиянии экологически обусловленной экспозиции к свинцу на здоровье и развитие детей в промышленных городах Среднего Урала. *Биосфера*. 2010; 2(4): 554–65.
25. Одинцова И.Н., Писарева Л.Ф., Хряпченков А.В. *Эпидемиология, профилактика и ранняя диагностика злокачественных новообразований*. Томск; 1987: 73–5.
26. Дыхно Ю.А. *Эпидемиология рака легкого в Норильском промышленном районе. Рак легкого*. М.; 1992: 13–6.
27. Ананина О.А., Писарева Л.Ф., Одинцова И.Н., Христенко Е.Л., Попкова П.Г., Христенко И.Д. Заболеваемость злокачественными новообразованиями населения г. Норильска. Формирование групп повышенного риска. *Сибирский онкологический журнал*. 2013; (4): 58–61.
28. Дериглазова М.А., Рихванов Л.П. Особенности микроминерального состава зольного остатка организма человека, г. Норильск. *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2017; (4): 44–9.
29. Опекунова М.Г., Елсукова Е.Ю., Чекушин В.А., Томилина О.В., Салминер Р., Рейманн К. Мониторинг изменения состояния окружающей среды в зоне воздействия комбината «Североникель». Миграция и аккумуляция химических элементов в почвогрунтах г. Мончегорска. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География*. 2006; (2): 96–103.

## References

1. Dudarev A.A., Dushkina E.V., Chupakhin V.S., Sladkova Yu.N., Burova D.V., Gushchin I.V., et al. Metal content of local foods in Pechenga district of Murmansk region. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2015; (2): 35–40. (in Russian)
2. Kovshov A.A., Novikova Yu.A., Fedorov V.N., Tikhonova N.A. Diseases risk assessment associated with the quality of drinking water in the urban districts of Russian Arctic. *Vestnik Ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki*. 2019; 16(2): 215–22. <https://doi.org/10.22138/2500-0918-2019-16-2-215-222> (in Russian)
3. Tyaptirgyanov M.M., Tyaptirgyanova V.M. Ecologic and hygienic assessment of accumulation of mercury in bodies and tissues of river fish of Yakutia. *Yakutskiy meditsinskiy zhurnal*. 2015; (1): 34–8. (in Russian)
4. Stepanko N.G., Stepankova A.A., Tkachenko G.G. Possible environmental consequences of the economic development of the northern territories of the far east of Russia. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2018; (1): 26–3488. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2018-1-26-36> (in Russian)
5. Kobzar A.D., Khristoforova N.K. Monitoring the pollution of Rudnaya bay (sea of Japan) based on the heavy metal content of brown algae. *Biologiya morya*. 2019; 45(2): 152–8. <https://doi.org/10.1134/S1063074019020044>
6. Khristoforova N.K., Gamayunova O.A., Afanas'ev A.P. State of the Kozmin and Wrangel Bays (Peter the Great Bay, Japan Sea): dynamics of pollution with heavy metals. *Izvestiya TINRO (Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybokhozyaystvennogo tsentra)*. 2015; 180: 179–86. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2015-180-179-186> (in Russian)

7. Shulkin V.M., Chernova E.N., Khristoforova N.K., Kozhenkova S.I. Influence of mining activity on the chemical composition of water ecosystems. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2014; (6): 483–94. (in Russian)
8. Pino A., Bocca B., Forte G., Majorani C., Petrucci F., Senofonte O., et al. Determination of mercury in hair of children. *Toxicol. Lett.* 2018; 298: 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2018.06.1215>
9. WHO Biomonitoring-based indicators of exposure to chemical pollutants. Report of a meeting; 2012. Available at: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/170734/e96640.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/170734/e96640.pdf)
10. Ilchenko I.N. The review of studies concerning evaluation of effect of mercury on population in post-soviet countries using data of human biomonitoring. *Zdravookhranenie Rossiyskoy Federatsii*. 2015; 59(1): 48–53. (in Russian)
11. Tatsiy Yu.G. Applicability of human hair as a bioindicator for environmental mercury pollution. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie*. 2013; (12): 158–64. (in Russian)
12. Egorov A.I., Il'chenko I.N., Lyapunov S.M., Marochkina E.B., Okina O.I., Ermolaev B.V., et al. Application of a standardized human biomonitoring methodology to assess prenatal exposure to mercury. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2014; 93(5): 10–8. (in Russian)
13. Shuvalova O.P., Ivanova E.S., Komov V.T. Influence of mercury accumulation on the health status of reproductive age women. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2018; (11): 36–9. (in Russian)
14. Grandjean P., Budtz-Jørgensen E. Total imprecision of exposure biomarkers: implications for calculating exposure limits. *Am. J. Ind. Med.* 2007; 50(10): 712–9. <https://doi.org/10.1002/ajim.20474>
15. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Water quality criterion for the protection of human health: methylmercury. EPA-823-R-01-001; 2001. Available at: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-01/documents/methylmercury-criterion-2001.pdf>
16. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Scientific opinion on the risk of public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA J.* 2012; 10: 2985–3136.
17. Schulz C., Wilhelm M., Heudorf U., Kolossa-Gehring M. Reprint of «Update of the reference and HBM values derived by the German Human Biomonitoring Commission». *Int. J. Hyg. Environ. Health*. 2012; 215(2): 150–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2012.01.003>
18. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 1995–1996 threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 1996.
19. Chlor-alkali production: the company “Caustic” in Volgograd is a hot spot of mercury pollution in Russia. 2013. Available at: [https://ipen.org/hgmonitoring/pdfs/russian\\_fish\\_and\\_hair\\_report-ru.pdf](https://ipen.org/hgmonitoring/pdfs/russian_fish_and_hair_report-ru.pdf) (in Russian)
20. Malov A.M., Lukovnikova L.V., Alikbaeva L.A., Yakubova I.Sh., Shchegolikhin D.K. The results of the monitoring of the mercury contamination within a megapolis. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(12): 1189–94. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-12-1189-1194> (in Russian)
21. Klopov V.P. Levels of heavy metals in women residing in the Russian Arctic. *Int. J. Circumpolar Health*. 1998; 57(Suppl. 1): 582–5.
22. Rylander C., Sandanger T.M., Petrenya N., Konoplev A., Bojko E., Odland J.Ø. Indications of decreasing human PTS concentrations in North West Russia. *Glob. Health Action*. 2011; 4. <https://doi.org/10.3402/gha.v4i0.8427>
23. UNEP DTIE Chemical Branch and WHO Department of Food Safety Zoonoses and Foodborne Diseases. Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure. Geneva, Switzerland; 2008. Available at: <https://www.who.int/foodsafety/publications/risk-mercury-exposure/en/>
24. Technical Regulations of the Customs Union TR CU 021/2011 «“On food safety”, Appendix 3. “Fish, non-fish fishing objects and products produced from them”». (in Russian)
25. Terentev P.M., Kashulin N.A., Dauval'ter V.A., Koroleva I.M. Accumulation of mercury in the tissues of fish reservoirs of the Murmansk region and regions of Norway and the border areas of Norway and Finland. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTs RAN*. 2018; (15): 509–12. <https://doi.org/10.31241/FNS.2018.15.130> (in Russian)
26. Kramar K.V., Kyrov D.N. The content of mercury in the organs and tissues of fish. *Simvol nauki*. 2017; 3(4): 18–21. (in Russian)
27. Popov P.A., Androsova N.V., Popov V.A. Nature of mercury accumulation in fishes of the Ob River. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii*. 2019; (4): 51–6. (in Russian)
28. Luchsheva L.N., Kovekovdova L.T., Nazarov V.A. Mercury content in commercial species of fish from Khanka Lake. *Izvestiya Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybokhozyaystvennogo tsentra*. 2000; 127–2: 559–68. (in Russian)
29. Fomina S.F., Stepanova N.V. Non-carcinogenic risk for children population health in Kazan caused by food products and food raw materials contamination. *Analiz riska zdorov'yu*. 2017; (4): 42–8. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.4.04.eng> (in Russian)
30. R 2.1.10.1920-04. Human health risk assessment from environmental chemicals. Moscow; 2004. (in Russian)
31. WHO; ENHIS. Fact sheet 4.5. Level of Lead in children's blood; 2009.
32. Revich B.A. Hygienic evaluation of the content of chemical elements in human biosubstrates. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 1986; 65(7): 59–62. (in Russian)
33. Revich B.A. Lead in bio-substrates of industrial city inhabitants. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 1990; 69(3): 28–32. (in Russian)
34. Revich B.A., Sharov P.O., Sergeev O.V. Lead and children's health: results of few Russian studies in 2000–2009. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2011; 90(6): 12–6. (in Russian)
35. Privalova L.I., Katsnel'son B.A., Kuz'min S.V., Gurvich V.B., Malykh O.L., Voronin S.A., et al. The impact of the environmental lead exposure on the health and development of children in copper-producing townships of the Middle Urals. *Biosfera*. 2010; 2(4): 554–65. (in Russian)
36. Dignam T., Pomaes A., Werner L., Newbern E.C., Hodge J., Nielsen J., et al. Assessment of Child Lead Exposure in a Philadelphia Community, 2014. *J. Public. Health Manag. Pract.* 2019; 25(1): 53–61. <https://doi.org/10.1097/phh.0000000000000711>
37. Odintsova I.N., Pisareva L.F., Khryapenkov A.V. *Epidemiology, Prevention and Early Diagnosis of Malignant Neoplasms [Epidemiologiya, profilaktika i rannaya diagnostika zlokachestvennykh novoobrazovaniy]*. Tomsk; 1987: 73–5. (in Russian)
38. Dykhno Yu.A. *Epidemiology of Lung Cancer in the Norilsk Industrial District? Lung Cancer [Epidemiologiya raka legkogo v Noril'skom promyshlennom rayone. Rak legkogo]*. Moscow; 1992: 13–6. (in Russian)
39. Ananina O.A., Pisareva L.F., Odintsova I.N., Khristenko E.L., Popkova P.G., Khristenko I.D. Cancer incidence among population of Norilsk. Formation of high risk groups for cancer. *Sibirskiy onkologicheskiy zhurnal*. 2013; (4): 58–61. (in Russian)
40. Deriglazova M.A., Rikhvanov L.P. Environmental condition monitoring in the districts of industrial complex “Severonikel”. II. Migration and accumulation of chemical elements in soils. *Vestnik Kolskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2017; (4): 44–9. (in Russian)
41. Opekunova M.G., Elskova E.Yu., Chekushin V.A., Tomilina O.V., Salminer R., Reyman K. Environmental condition monitoring in the districts of industrial complex «Severonikel». I. Migration and accumulation of chemical elements in soils in Monchegorsk-city. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya*. 2006; (2): 96–103. (in Russian)
42. Sivtseva A., Sivtseva E., Shadrina S., Microelement composition of serum in Dolgans, indigenous inhabitants of the Russian Arctic, in the conditions of industrial development of territories. *Int. J. Circumpolar. Health*. 2020; 79(1): 1764304. <https://doi.org/10.1080/22423982.2020.1764304>
43. Tan S.S., Praveena S.M., Singh A.Z., Cheema M.S. Review of heavy metals in indoor dust and its human health-risk implications. *Rev. Environ. Health*. 2016; 31(4): 447–56. <https://doi.org/10.1515/reveh-2016-0026>
44. Kafaei R., Tahmasbi M., Ravanipour D., Ranjbar M., Mehdi A., Omrani A., et al. Urinary arsenic, cadmium, manganese, nickel, and vanadium levels of schoolchildren in the vicinity of the industrialised area of Asaluyeh, Iran. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2017; 24(30): 23498–507. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9981-6>
45. Nissea C., Tagne-Fotso R., Howsamd M. Blood and urinary levels of metals and metalloids in the general adult population of Northern France: The IMEPOGE study, 2008–2010. *Int. J. Hyg. Environ. Health*. 2017; 220(2 Pt. B): 341–63. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.09.020>
46. Junaid M., Malik M., Pei D. Health hazards of child labor in the leather products and surgical instrument manufacturing industries of Sialkot, Pakistan. *Environ. Pollut.* 2017; 226: 198–211. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.026>