

УДК 504.5:502.11 DOI 10.21685/2500-0578-2022-2-2

БАЛАНС МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЦЕПИ «ВОДА – ПОЧВА – РАСТЕНИЯ – ЖИВОТНЫЕ – ЧЕЛОВЕК» В УРБОЭКОСИСТЕМЕ г. АМУРСКА ХАБАРОВСКОГО КРАЯ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РТУТЬЮ

Е. Д. Целых¹, М. Х. Ахтямов², А. Е. Полещук³

^{1,2,3} Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия, 680021, Хабаровск, ул. Серышева, 47

¹ Celixed@mail.ru, ² amidkhat@gmail.com, ³ andrewpoleshchuk@gmail.com

Аннотация. Актуальность и цели. Аномально высокое содержание тяжелых металлов является важным предиктором формирования своеобразного территориального элементного фона в компонентах урбоэкосистем, что в конечном счете отражается на здоровье людей. 25-летний мониторинг экологического состояния территории г. Амурска показал высокую концентрацию ртути в почве, воде, жидких и твердых биосубстратах животных и человека. Цель исследования – изучение баланса микроэлементов в экосистеме «вода – почва – растения – животные – человек» на фоне влияния техногенного загрязнения ртутью окружающей среды, обусловленного длительным отсутствием работ по демонтажу и демеркуризации территории целлюлозно-картонного комбината г. Амурска. **Материалы и методы.** Проведен анализ примесей, содержащихся в питьевой воде централизованного водоснабжения ($n = 25$); почве ($n = 20$); овощной продукции дачных участков (картофель, морковь, огурцы); биосубстратах человека (волосы, сыворотка крови, $n = 194$); шерсти млекопитающих животных ($n = 13$). Методом атомно-эмиссионной спектроскопии с анализом образцов на квадрупольном спектрометре определено содержание элементов: Cd, Hg, Pb, Ca, Fe, Co, Cu, Se, Zn, Mo, To, U, P ($n = 12$). **Результаты.** Анализ состава примесей воды питьевых источников централизованного и децентрализованного водоснабжения территории гг. Амурска и Хабаровска показал, что в 100 % случаев основным фактором, оказывающим влияние на половое развитие подростков являются высокие концентрации Р, Мп и низкие Мо и Се. У 65 % мальчиков и 80 % девочек г. Амурска определен низкий уровень полового развития. В пищевых продуктах суточного рациона подростков г. Амурска выявлено опасное для здоровья содержание Hg. 68 % мальчиков-подростков и 80 % девочек г. Амурска имеют дисгармоничное физическое развитие, связанное в основном с дефицитом массы тела. **Выводы.** В исследуемой урбоэкосистеме, загрязненной ртутью в течение последних 25 лет, выявлен дисфункциональный и дизадаптивный характер показателей соматического и репродуктивного здоровья населения, в том числе подрастающего поколения.

Ключевые слова: урбоэкосистемы, микроэлементы, Hg, демеркуризация, ремедиация, здоровье подростков, г. Амурск Хабаровского края

Для цитирования: Целых Е. Д., Ахтямов М. Х., Полещук А. Е. Баланс микроэлементов в цепи «вода – почва – растения – животные – человек» в урбоэкосистеме г. Амурска Хабаровского края в условиях техногенного загрязнения ртутью // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2022. Vol. 7 (2). <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2022-2-2>

THE BALANCE OF MICROELEMENTS IN THE CHAIN “WATER – SOIL – PLANTS – ANIMALS – PEOPLE” IN THE URBAN ECOSYSTEM OF THE CITY OF AMURSK, Khabarovsk TERRITORY UNDER CONDITIONS OF TECHNOGENIC MERCURY POLLUTION

E. D. Tselykh¹, M. Kh. Akhtyamov², A. E. Poleshchuk³

^{1,2,3} Far Eastern State Transport University, 47 Serysheva street, Khabarovsk, 680042, Russia

¹ Celixed@mail.ru, ² amidkhat@gmail.com, ³ andrewpoleshchuk@gmail.com

Abstract. Background. An abnormally high content of heavy metals is an important predictor of the formation of a peculiar territorial elemental background in the components of urban ecosystems, which ultimately affects people's health. A 25-year monitoring of the ecological state of the territory of the city of Amursk showed a high concentration of mercury in soil, water, liquid and solid biosubstrates of animals and humans. The goal is to study the balance of microelements in the “water – soil – plants – animals – man” ecosystem against the background of the impact of technogenic mercury pollution of the environment, due to the long-term absence of work on dismantling and demercurization of the territory of the Amursk Pulp and Cardboard Mill. **Materials and methods.** The analysis of impurities contained in the drinking water of centralized water supply ($n = 25$) was carried out; soil ($n = 20$); vegetable products of summer cottages (potatoes, carrots, cucumbers); human biosubstrates (hair, blood serum, $n = 194$); wool of mammals ($n = 13$). The content of elements: Cd, Hg, Pb, Ca, Fe, Co, Cu, Se, Zn, Mo, To, U, P ($n = 12$). **Results.** Analysis of the composition of water impurities from drinking sources of centralized and decentralized water supply in the territory of the cities of Amursk and Khabarovsk showed that, in 100 % of cases, the main factor influencing the sexual development of adolescents is high concentrations of P, Mn and low – Mo and Se. 65 % of boys and 80 % of girls are a low level of sexual development in Amursk. In foodstuffs of the daily ration of teenagers in the city of Amursk, the content of Hg hazardous to health was revealed. 68 % of adolescent boys and 80 % of girls in the city of Amursk have disharmonious physical development, mainly associated with a lack of body weight. **Conclusions.** In the studied urban ecosystem, contaminated with mercury over the past 25 years, a dysfunctional and maladaptive nature of indicators of somatic and reproductive health of the population, including the younger generation, was revealed.

Keywords: urban ecosystems, trace elements, Hg, demercurization, remediation, adolescent health, Amursk, Khabarovsk territory

For citation: Tselykh E.D., Akhtyamov M.Kh., Poleshchuk A.E. The balance of microelements in the chain “water – soil – plants – animals – people” in the urban ecosystem of the city of Amursk, Khabarovsk territory under conditions of technogenic mercury pollution. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2022;7(2). (In Russ.). Available from: <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2022-2-2>

Введение

Проблема техногенного загрязнения населенных территорий и миграции поллютантов в трофических цепях и сетях урбоэкосистем является актуальной; ее последствия сказываются на здоровье населения, в том числе детей всех возрастных групп.

Общая заболеваемость детей на территории Хабаровского края значительно выше, чем заболеваемость в других возрастных группах населения. В настоящее время доказана связь между состоянием окружающей среды и здоровьем детей [1, 2].

Особую проблему, чрезвычайно актуальную для многих стран мира, включая Россию, представляет загрязнение промышленных центров Hg и необходимость ремедиации прилегающих территорий. Известно, что в заводских зонах производства хлорно-щелочных, целлюлозно-бумажных материалов, предприятий по производству хлорвинила, красителей, изотопов лития, а также приборостроительных, электроламповых заводов существуют обширные зоны ртутного загрязнения [3].

Во многих странах мира кроме законодательно установленных пороговых уровней Hg в почвах, грунтах и подземных водах, определяющих обязательность санации территорий, обоснован регламент проведения работ по их ремедиации и внедрены в практику эффектив-

ные способы деkontаминации. В России указанные вопросы находятся в стадии обсуждения и начальной разработки [4]. Однако на территориях с повышенной ртутной нагрузкой, например, в Приангарье (Иркутская область), Павлодаре (Казахстан) и др., проводится мониторинг, внедрены рекомендации по нивелированию риска ртутной опасности [5, 6].

Производство на Амурском целлюлозно-картонном комбинате (ЦКК) было остановлено в 1994 г. Во времена кризисных явлений в экономической системе РФ решением Арбитражного суда Хабаровского края в 1997 г. предприятие ОАО «Амурскбумпром» было признано банкротом, и было введено конкурсное управление. Без должного внимания и охраны ЦКК начал постепенно превращаться в опасные руины. Согласно первоначальному замыслу администрации г. Амурска, ЦКК планировалось уничтожить направленными взрывами, но близость Амурской ТЭЦ (в 20 м) и огромные финансовые затраты стали причиной отказа от данного проекта [7].

Мониторинг состояния территории г. Амурска Хабаровского края за 25 лет не выявил благоприятных для природной среды изменений в содержании Hg; не произведена ремедиация территории и деkontаминация загрязненных Hg почв и грунтов; суммарное количество Hg, аккумулированной на указанной территории, оценивается ≤ 3000 т.

Цель проведенного исследования – определение баланса микроэлементов в экосистеме «вода – почва – растения – животные – человек» на фоне влияния техногенного загрязнения Hg окружающей среды территории ЦКК г. Амурска.

Материалы и методы исследования

Территория исследования. Исследование проведено на территории заброшенного ЦКК г. Амурска Хабаровского края.

Сбор данных. Проведено рекогносцировочное обследование территории бывшего ЦКК (работал с 1967 по 1997 г., с 1997 г. – банкрот) с использованием методов визуального наблюдения: осмотр места; оценка рельефа; описание имеющихся карьеров, неглубоких водоемов, строительных выработок и др. Также был проведен опрос местного населения ($n = 22$), посвященный выявлению значимости ртутного отравления почвы г. Амурска для человека.

Забор проб воды проводился во все сезоны. Анализ проб воды осуществлялся в условиях сертифицированной лаборатории Института тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН (ИТиГ, г. Хабаровск). В пробах воды методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре ICP-MS Elan 9000 (Канада) определен некоторый элементный состав воды цен-

трализованного и децентрализованного водоснабжения, в том числе Hg [8].

Шерсть овец состригали с 3–4 участков затылочной части головы. Для подготовки образцов использовали навеску шерсти (3,0 г), которую многократно обрабатывали смесью азотной кислоты и перекиси водорода, с последующим выпариванием до влажных солей. После разложения остаток растворяли в разбавленной азотной кислоте, переносили в мерную колбу и доводили до метки дистиллированной водой [9]. Анализ полученных растворов проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре ICP-MS Elan 9000 (Канада); определено содержание Hg [8].

Статистический анализ проводился с использованием стандартных методов вариационной статистики: определение достоверности полученных данных в условиях стандартного нормального распределения для независимых выборок с использованием коэффициента Стьюдента, с учетом «ошибки средней» – $M \pm m$; корреляционный анализ – по коэффициенту парной корреляции [10].

Для математических расчетов использовались статистический пакет SPSS и офисный пакет Microsoft Office Excel 2013.

Дизайн исследования, проведенного нами и включающего теоретическую и практическую часть, показывает значимость данной проблемы (рис. 1).



Рис. 1. Дизайн исследования

Fig. 1. Study design

Проведен анализ литературных научных источников по проблеме состояния территории бывшего ЦКК за период обследования (2007–

2020 гг.), в том числе на базе НИЛ «Профилактика дизадаптивных изменений у работников опасных профессий» ДВГУПС.

Проведена работа по анализу новостных репортажей СМИ (2016–2020 гг.).

Результаты исследования

Обследование территории целлюлозно-картонного комбината в Амурске

Было проведено обследование территории бывшего ЦКК в Амурске. Нг использовалась для производства хлора, участвующего в отбеливании бумаги.

Анализ литературных научных источников по проблеме состояния территории бывшего ЦКК в начале XXI в. выявил, что к 2008 г. от производства остались только руины, пропитанные Нг. Наблюдение за объектом осуществлялось в период с 2007 по 2019 г. группой ученых [12–14].

В октябре 2019 г. работа по изучению проблемы ртутного загрязнения территории ЦКК была возобновлена: экспедиционная группа провела новое обследование территории (рис. 2).

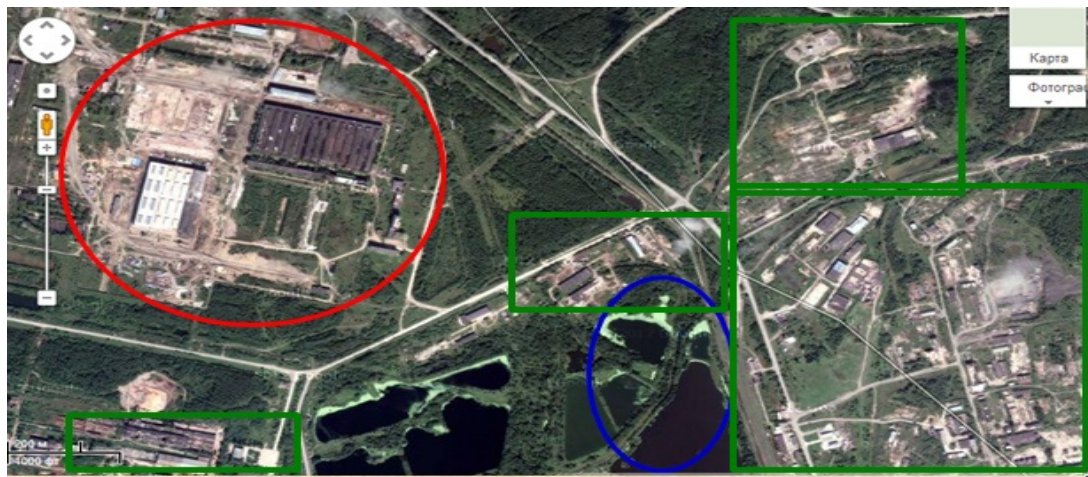


Рис. 2. Аэрофотоснимок (Google Maps) ЦКК, расположенного на территории г. Амурска. Показаны территории: красным цветом – ЦКК, синим – водохранилище, зеленым – жилые дома и постройки г. Амурска

Fig. 2. Aerial photograph (Google Maps) of the Pulp and Cardboard Mill located on the territory of the city of Amursk. Territories are shown: in red – Pulp and Cardboard Mill, in blue – reservoir, in green – residential buildings and buildings of the city of Amursk

Исследования показали, что процессы демеркуризации и демонтажа ЦКК г. Амурска практически не осуществлялись, внешний вид корпусов ЦКК и внутренний вид цехов оста-

лись практически неизменными, с учетом дополнительных разрушений за счет прошедшего 10-летнего периода (рис. 3).



Рис. 3. Разрушенный корпус ЦКК: а – сентябрь 2008 г.; б – ноябрь 2019 г.
Авторы фотографий: 2006–2008 гг. – Р. А. Миронов; 2016–2019 гг. – А. Е. Полещук

Fig. 3. The destroyed building of the Pulp and Cardboard Mill: a – September 2008; b – November 2019.
Photo credits: 2006–2008 – R. A. Mironov; 2016–2019 – A. E. Poleshchuk

За последние 3 года, после смены нескольких подрядчиков, усилилось разрушение центральной части ЦКК. Изменения, связанные

с демеркуризацией и демонтажом, в сравнении с 2008 г. были незначительными (рис. 4).

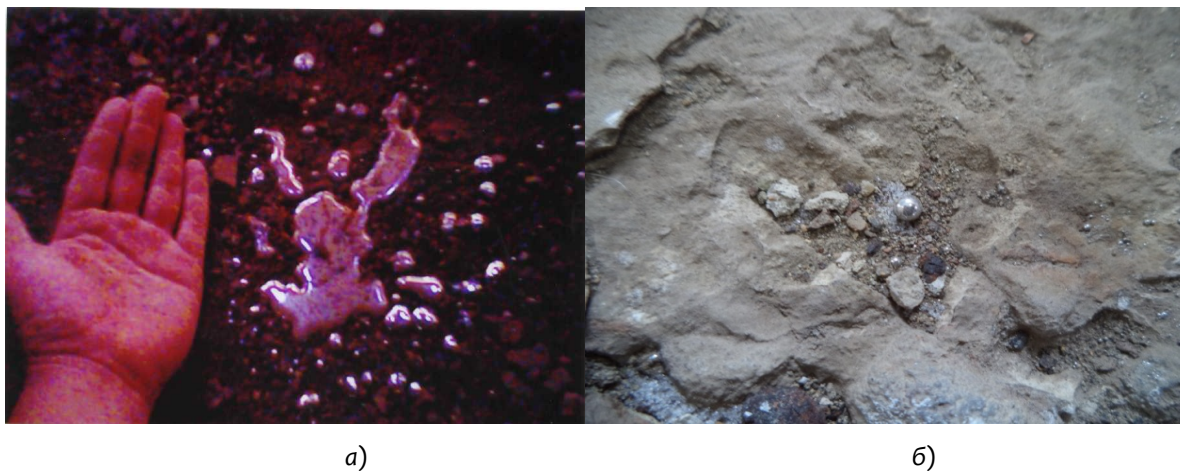


Рис. 4. Hg на территории корпуса бывшего ЦКК:
а – сентябрь 2008 г.; б – ноябрь 2018 г.

Fig. 4. Hg on the territory of the building of the former Pulp and Cardboard Mill:
a – September 2008; b – November 2018

Некоторая часть разрушенных конструкций и Hg была собрана, но не утилизирована. В даль-

нейшем весь материал был перемешан с грунтом и не вывозился, остался на месте (рис. 5).



Рис. 5. Скопление уже очищенных ранее обломков перекрытий второго этажа и других относительно чистых конструкций с чрезвычайно загрязненным Hg грунтом первого этажа (ноябрь 2019 г.)

Fig. 5. Accumulation of fragments of floors of the second floor and other relatively clean structures with ground floor extremely contaminated with Hg (November 2019)

На территорию бывшего «хлорного» цеха обеспечен беспрепятственный доступ. Ближайшие колонки с питьевой водой, принадлежащие частным лицам, находятся на расстоянии 1 км.

Исследование проб воды г. Амурска с 2007 по 2019 г.

Согласно данным [13, 15] по отбору проб воды источников питьевого и непитьевого назначения, в г. Амурске и Амурском районе на протяжении летнего, осеннего и зимнего

сезонов 2007–2016 гг. было определено содержание тяжелых металлов, превышающее предельно допустимую концентрацию (ПДК), в том числе Hg.

Наиболее вероятным путем поступления Hg в воду являются сточные воды производства. После поступления неорганическая Hg может, в результате метилирования, перейти в метилртуть, которая вызывает изменения во многих клеточных структурах, органах, системах органов (некроз почек и печени, церебральные нарушения).

В воде из источников децентрализованного водоснабжения (г. Амурск), не предназначенных для использования в пищевых целях, были

обнаружены повышенные концентрации Hg (983,045 мкг/л) и Cd (1,696 мкг/л) (рис. 6).



Рис. 6. Карта-схема г. Амурска с отметками мест отбора проб (2008–2016); места отбора воды обозначены пунсонами красного цвета: 1 – кран, СШ № 3; 2 – колодец, ул. Сандинка, 10; 3 – колонка, ул. Парковое кольцо; 4 – колодец, ул. Северная, 12; 5 – колодец, ул. Высокая, 6; 6 – озеро на территории ЦКК

Fig. 6. Scheme map of the city of Amursk with marks of sampling sites (2008–2016); places of water withdrawal are marked with red punches: 1 – tap, secondary school No. 3; 2 – well, Sandinka street, 10; 3 – water fountain, Parkovoye Koltso street; 4 – well, Severnaya street, 12; 5 – well, Vysokaya street, 6; 6 – lake on the territory of the Pulp and Cardboard Mill

Хроническое поступление Hg в организм препятствует утилизации Se и К [16]. По результатам научных публикаций известно, что

в весеннее время года в водоемах, прилегающих к ЦКК, содержание ртути превышает ПДК в 1966 раз [17–19] (рис. 7).



Рис. 7. Водоем с критическим содержанием ртутных соединений в воде, превышающим ПДК в 1966 раз; располагается в черте г. Амурска

Fig. 7. A reservoir with a critical content of mercury compounds in water, exceeding MAC by 1966 times; located within the city of Amursk

По результатам обследования в октябре 2018 г., в водоеме на территории ЦКК также обнаружено превышение ПДК по Hg более чем

в 34 раза, в затопленном комплексе – более чем в 52 раза, на въезде – в 1,2 раза (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Показатели содержания тяжелых металлов и токсических элементов
в водных источниках природного типа и организованного водоснабжения
на территории г. Амурска и Амурского района (2013 г.)

Indicators of the content of heavy metals and toxic elements
in water sources of natural type and organized water supply
on the territory of the city of Amursk and the Amur region (2013)

ПДК	Место отбора проб					
	Отстойник бывшего ЦКК	Колонка, «Лодочная станция»	Озеро, территория ЦКК	Колодец, дачные участки, 9 км	Колодец, дачные участки, 10 км	Колодец, дачные участки, АМЗ, 11 км
Ртуть (Hg), ТМ, ПДК 0,5 мкг/л (класс 1)	<0,001	<0,001	983,045	<0,001	<0,001	<0,001

П р и м е ч а н и е. Здесь и далее ТМ – тяжелые металлы.

В октябре 2018 г. был произведен повторный отбор проб воды на содержание тяжелых металлов и токсических элементов на территории ЦКК: непосредственно в затопленном ком-

плексе ЦКК, в месте въезда на территорию, в водоемах на территории, на расстоянии 100 и 200 м от ЦКК (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Показатели содержания тяжелых металлов и токсических элементов
в водных источниках природного типа на территории
г. Амурска и Амурского района (2018 г.)

Indicators of the content of heavy metals and toxic elements
in natural water sources in the city of Amursk and the Amur region (2018)

ПДК	Место отбора проб					
	Место въезда на объект	Водоем, территория ЦКК	Озеро, территория ЦКК	100 метров от объекта	200 метров от объекта	Затопленный комплекс ЦКК
Ртуть (Hg), ТМ, ПДК 0,5 мкг/л (класс 1)	0,6	0,42	17,11	0,38	0,16	26,44

Очередной отбор проб воды и земли на территории бывшего ЦКК был произведен в 2019 г. По результатам анализа было замечено снижение показателей Hg в водных источниках, а также увеличение показателей в почве (рис. 8). Тем не менее содержание Hg в пробах воды превышало границы ПДК в 1,3 раза, что не обеспечивает благоприятные перспективы.

Анализ состава элементов-примесей питьевых источников централизованного и децен-

трализованного водоснабжения территории гг. Амурска и Хабаровска показал, что в 100 % случаев одним из факторов, оказывающих влияние на интегральный показатель функционального отклика организма (ИПФО), является высокая концентрация Mn, соответствующая границам уровня «неизбежные патологические сдвиги».

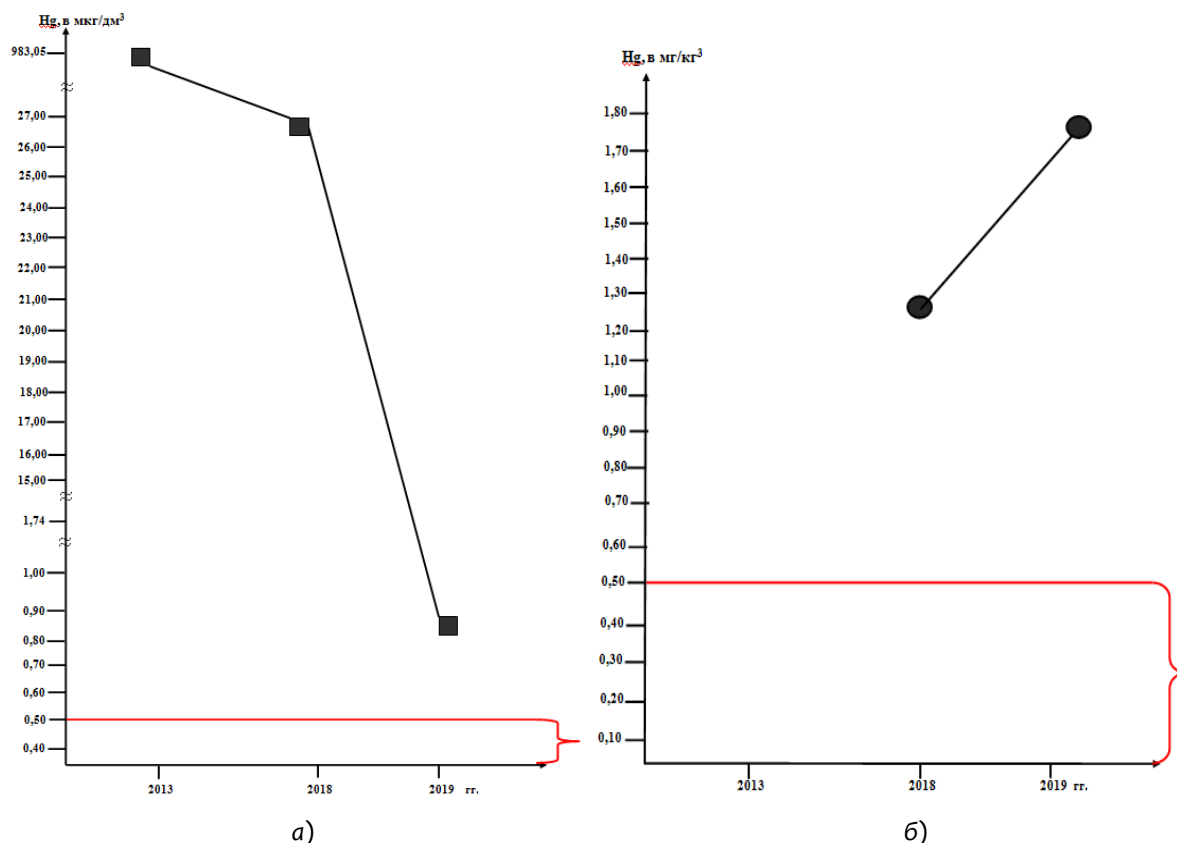


Рис. 8. Мониторинговые характеристики максимального содержания Hg в пробах г. Амурска:
а – пробы воды непитьевого назначения (n = 16); б – пробы земли (n = 8). Здесь и далее – пределы ПДК

Fig. 8. Monitoring characteristics of the maximum content of Hg in the samples of the city of Amursk:
a – non-drinking water samples (n = 16); б – soil samples (n = 8). Here and below – MAC limits

Анализ содержания микроэлементов в продукции дачных участков

В пищевых продуктах суточного рациона подростков г. Амурска выявлено избыточное, опасное для здоровья подростков содержание Hg. Так, овощи, выращиваемые в условиях дачных участков, могут быть источником избытка Hg, являясь причиной нарушений металло-лигандного гомеостаза в организме, оказывающего влияние на нарушения физического, полового развития и сдвиги эндокринного профиля подростков г. Амурска. Анализ элементного состава овощных культур, выращиваемых на дачных участках обследуемых семей, показал, что картофель, морковь, огурцы неодинаково накапливают тяжелые металлы. Причем наибольшее количество микроэлементов накапливается в картофеле – в 2,3–4,0 раза больше, чем в моркови, и в 4,0–10,2 раза больше, чем в огурцах.

Анализ содержания микроэлементов в твердых и жидких биосубстратах

Анализ шерсти овец, выпасающихся на меркуризованном участке, показал, что 38,5 %

имеет содержание Hg, в 4–154 раза превышающее нормативный показатель.

Среднее содержание Hg в шерсти баранов превышало норматив в 16,1 раза. Среди овец, имеющих высокое содержание Hg в шерсти, среднее содержание составило 0,042 мкг/кг, что в 41,8 раза превышает норматив.

Одной из главных биохимических особенностей территории, на которой происходил выпас овец, является дисбаланс микроэлементов (МЭ). Согласно данным научных литературных источников, нарушение баланса химических элементов в окружающей среде вызывает патологические изменения в организме животных и человека [15].

Одним из факторов, влияющих на разложение Hg в поверхностных водах, является интенсивность солнечного излучения. Исследования показывают, что открытие механизма фоторазложения Hg вносит изменения и дополнения в существующее представление о водном круговороте Hg, в котором доминирующая роль в процессе разложения Hg в естественных условиях отводилась микроорганизмам.

В работах Е. Д. Целых и З. Ю. Билибиной (2011) в твердых биосубстратах (волосы)

и продуктах питания подростков г. Амурска была определена повышенная концентрация Hg и элементный дисбаланс; была показана взаимосвязь высокого содержания токсичных и потенциально токсичных элементов в волосах с некоторыми показателями структурно-функционального статуса подростков г. Амурска Хабаровского края [12, 15].

По итогам исследований, проведенных в НИЛ «Профилактика дизадаптивных изменений у работников опасных профессий» ДВГУПС, в группе детей г. Хабаровска содержание Mn в волосах в 3,3 раза ниже, чем у амурчан. Концентрация Fe в волосах хабаровских подростков в 4,6 раза выше, чем у подростков г. Амурска. Таким образом, определен дисбаланс Mn и Fe у подростков исследуемых групп. Более грубое (дизадаптивное) отклонение от физиологического норматива выявлено у подростков г. Амурска ($p \leq 0,001$).

Содержание Zn в волосяном покрове подростков гг. Амурска и Хабаровска соответствует верхней границе норматива (дисфункциональное) и достоверно не различается. Повышенное

содержание Ba, Ti, Ag, P в волосах выявлено только у подростков г. Амурска. Анализ содержания МЭ в волосах ($M \pm m$) подростков ($n = 150$), проживающих в условиях гг. Амурска и Хабаровска, показал повышенное содержание (дисфункциональное/дизадаптивное) некоторых токсичных (Hg, Mn, Fe, Tl, Pb, Zn), потенциально токсичных (Ag, Ba, P, Ti), радиоактивных металлов (Th, U). Дисбаланс также определяется дефицитным содержанием эссенциальных элементов (Se, Mo) [20].

При анализе МЭ в сыворотке крови (СК) обследуемых подростков г. Амурска найдена избыточная, в сравнении с физиологическим нормативом, концентрация Hg, Mn, Fe, Zn, U и дефицитная – Ba, Se, Mo, что подтверждает предположение о нарушении металло-лигандного гомеостаза. В СК мальчиков и девочек г. Амурска найдена высокая концентрация Hg, характеризующаяся как дизадаптивный показатель. Концентрация Hg в СК мальчиков г. Амурска в 3,3 раза выше, чем у хабаровских (табл. 3).

Таблица 3

Table 3

Средняя концентрация ($M \pm m$) токсичных, потенциально токсичных, радиоактивных и эссенциальных микроэлементов в сыворотке крови подростков гг. Амурска и Хабаровска ($n = 194$)

Average concentration ($M \pm m$) of toxic, potentially toxic, radioactive and essential trace elements in the blood serum of adolescents in the cities of Amursk and Khabarovsk ($n = 194$)

Элемент	Содержание элемента в сыворотке крови подростков			
	♂		♀	
	г. Амурск	г. Хабаровск	г. Амурск	г. Хабаровск
1	2	3	4	5
Токсичные тяжелые металлы и металлоиды				
Ртуть (Hg) 0,02 мкг/л lim. н.гр. 0,0–0,0 lim. в.гр. 0,0–0,0	0,10±0,042 > в 5 раз	0,03±0,015 > в 1,5 раза	0,15±0,040 > в 7,5 раза	0,02±0,002 в пределах нормы
Марганец (Mn) 0,3–1,0 мкг/л lim. н.гр. 0,3–0,47 lim. в.гр. 0,86–1,0	25,92±0,706 > в 25,92 раза	6,09±1,503 > в 6,09 раза	1,65±0,563 > в 1,65 раза	0,51±0,013 в пределах нормы
Железо (Fe) 0,8–1,4 мкг/л lim. н.гр. 0,8–0,92 lim. в.гр. 1,28–1,4	4966,19±50,98 > в 3547,3 раза	1357,57±21,114 > в 969,7 раза	291,52±12,337 > в 208,2 раза	287,743±13,511 > в 205,5 раза
Цинк (Zn) 10,7–22,9 мкмоль/л lim. н.гр. 10,7–13,14 lim. в.гр. 20,46–22,9	45,71±3,261 > в 2 раза	10,96±1,934 в пределах нормы	23,68±2,392 > в 1,03 раза	28,53±2,156 > в 1,24 раза
Потенциально токсичные				
Барий (Ba) 50–90 мкг/л lim. н.гр. 50,0–58,0 lim. в.гр. 82,0–90,0	0,63±0,09 < в 142,8 раза	44,82±0,14 < в 2 раза	0,80±0,22 < в 112,5 раза	7,23±0,33 < в 12,4 раза

Окончание табл. 3

End of the table 3

1	2	3	4	5
Радиоактивные				
Уран (U) ≤ 0,5 мкг/л	0,001±0,0001 в пределах нормы	0,001±0,001 в пределах нормы	0,006±0,001 в пределах нормы	0,002±0,002 в пределах нормы
Эссенциальные				
Селен (Se) 65–135 мкг/л lim. н.гр. 60,0–72,0 lim. в.гр. 108,0–120,0	0,42±0,025 < в 321,4 раза	0,72±0,013 < в 187,5 раза	0,43±0,030 < в 314 раз	0,69±0,009 < в 195,6 раза
Молибден (Mo) 0,3–1,2 мкг/л lim. н.гр. 0,3–0,48 lim. в.гр. 1,02–1,2	0,71±0,231 в пределах нормы	0,001±0,001 < в 1200 раз	0,06±0,005 в пределах нормы	0,14±0,010 < в 8,6 раза

Накапливающаяся в организме Hg является биохимическим антагонистом Se, что в условиях регионального дефицита Se усугубляет его недостаток.

Биологическое соответствие вторичных половых признаков календарному возрасту у подростков гг. Амурска и Хабаровска

Согласно результатам исследования Ю. М. Литвин с соавторами (2013–2015), в большинстве случаев половое развитие мальчиков г. Амурска характеризуется отставанием

вторичных половых признаков (ВПП), которое наблюдалось у 64,51 % (оволосение аксиллярных впадин и лобка, тембр голоса, рост щитовидного хряща) (рис. 9) [14].

Определено, что у мальчиков группы сравнения (подростки г. Хабаровска) в 39,2 % случаев имеется отставание полового развития, что в свою очередь в 2 раза меньше, чем у мальчиков из г. Амурска. В среднем у мальчиков из г. Хабаровска наблюдается опережение полового развития на 1–2 года в сравнении со сверстниками из г. Амурска.

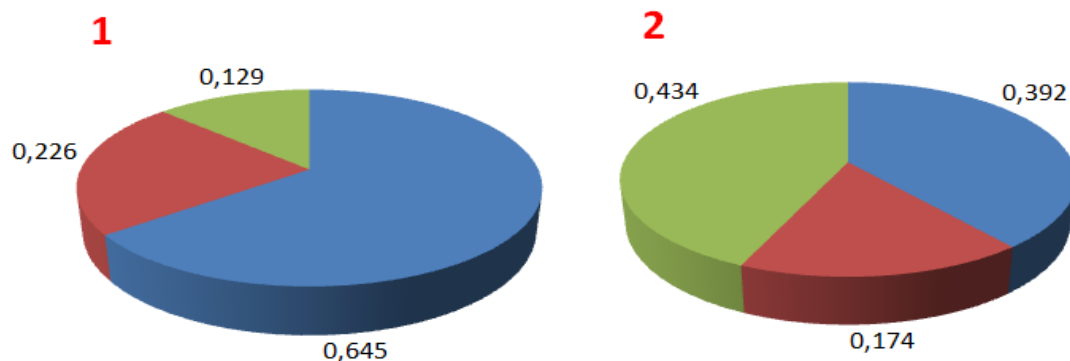


Рис. 9. Уровень полового развития (в долях) мальчиков подросткового возраста гг. Амурска (1) и Хабаровска (2): ■ – соответствует нормативному половому показателю; ■ – ниже норматива; ■ – выше норматива

Fig. 9. The level of sexual development (in shares) of adolescent boys in the cities of Amursk (1) and Khabarovsk (2): ■ – corresponds to the normative sexual indicator; ■ – below the standard; ■ – above the standard

При оценке полового созревания девочек-подростков г. Амурска было выявлено, что из всех признаков полового развития в норме только один – время наступления менархе (Me). Степень полового созревания девочек г. Амурска соответствует II стадии, т.е. возрастной группе 13-14-летних подростков, при том что средний возраст ♂ и ♀ не имеет достоверных различий – 15,72±0,14 лет (рис. 10).

Анализ данных ВПП девочек контрольной группы (г. Хабаровск) выявил опережение в половом развитии на 1–2 года у 71,4 %, в сравнении с девочками г. Амурска, которые в 79,5 % случаев отстают в половом развитии (см. рис. 10).

Таким образом, у подростков г. Амурска выявлено отставание в половом развитии от норматива и от хабаровских школьников на 1–2 года (по морфологическому характеру ВПП) [14].

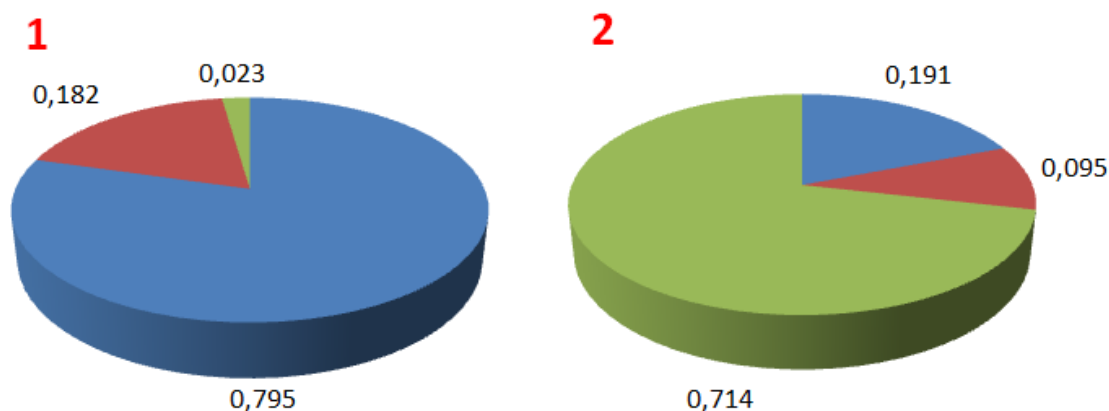


Рис. 10. Уровень полового развития (в долях) девочек подросткового возраста г. Амурска (1) и Хабаровска (2)

Fig. 10. The level of sexual development (in shares) of adolescent girls in the cities of Amursk (1) and Khabarovsk (2)

Содержание аденогипофизарных гормонов в сыворотке крови подростков обследуемых групп гг. Амурска и Хабаровска

По результатам наших исследований 2007–2021 гг. у подростков г. Амурска определено среднее содержание аденогипофизарных гормонов (тиреотропный гормон – ТТГ; фолликулостимулирующий гормон – ФСГ; пролактин, или лактогенный гормон – ПРЛ) в СК. Характеристики находятся в пределах возрастных нормативов. Однако концентрация лютеинизирующего гормона (ЛГ) соответствует нижней границе возрастного физиологического норматива в 2007 и 2009 гг. У мальчиков и девочек концентрация ЛГ соответствует нижней границе нормы: $1,88 \pm 0,18$ мМЕ/мл ($\text{♂}_{\min} = 0,8\text{--}2,32$ мМЕ/мл) и $4,26 \pm 0,73$ мМЕ/мл ($\text{♀}_{\min} = 0,9\text{--}4,76$ мМЕ/мл) соответственно.

Концентрация тиреоидных гормонов в сыворотке крови подростков обследуемых групп гг. Амурска и Хабаровска

Согласно данным исследования, содержание тироксина (сТ4) в СК у 12,9 % мальчиков-подростков г. Амурска было низким и соответствовало дизадаптивному уровню в 2007 г.: $8,590 \pm 0,570$ пмоль/л, а у 19,4 % – дисфункциональному уровню: $10,896 \pm 0,481$ пмоль/л, в то время как в группе сравнения (г. Хабаровск) 30,4 % мальчиков имеют дисфункционально высокое содержание сТ4 в СК – $21,623 \pm 0,327$ пмоль/л ($p \leq 0,001$; $p \leq 0,001$). В 2021 г. в г. Амурске у мальчиков было определено содержание тироксина $10,252 \pm 0,413$ пмоль/л, что соответствует нормативу.

Аналогично у 13,6–27,3 % девочек-подростков г. Амурска (2007 г.) содержание сТ4 в СК дисфункционально низкое или дизадаптивно

низкое: $8,805 \pm 0,318$ пмоль/л и $10,708 \pm 0,205$ пмоль/л соответственно, в то время как у 9,4 % девочек г. Хабаровска (группа сравнения) оно дисфункционально высокое: $23,135 \pm 0,194$ пмоль/л ($p \leq 0,001$; $p \leq 0,001$). В 2021 г. в г. Амурске у девочек было определено содержание тироксина, соответствующее пределам норматива, – $10,906 \pm 0,509$ пмоль/л.

Таким образом, содержание сТ4 в СК у мальчиков и девочек, проживающих в условиях разных территорий, имеет разнонаправленный характер изменений.

Следовательно, у подростков обеих половых групп г. Амурска определено снижение содержания сТ4 в СК, которое влечет за собой нарушения в развитии ВПП и физическом развитии (ФР).

Особенностями эндокринной системы являются дисфункциональные и дизадаптивные характеристики аденогипофизарных и тиреоидных гормонов в СК – у 62–44,1 % обследуемых подростков г. Амурска. Содержание гормонов девочек и мальчиков достоверно коррелятивно взаимосвязано с ВПП ($r = 0,431\text{--}0,655$).

Обсуждение

Таким образом, Нг продолжает отравлять почву, воду и воздух уже в течение 25 лет, включаясь в пищевые цепочки, попадая в организм жителей г. Амурска [5].

Результаты исследования позволяют сформировать группы риска на основе учета ведущих экологических факторов, что является основой доклинического прогнозирования. К таким характеристикам донологической диагностики относится содержание Нг в волосах: ♂ – 0,03 мкг/кг, ♀ – 0,04 мкг/кг, при нор-

мативе $< 0,01$ мг/кг, и в СК: ♂ – $0,10$ мг/л, ♀ – $0,15$ мг/л, при нормативе $0,02$ мг/л [17].

Hg относится к веществам, которые аккумулируются растениями и животными. При содержании Hg в почве до $0,05$ мг/кг содержание металла в золе молодой растительности колебалось в пределах $1\text{--}5$ мг/кг; в областях, почва которых содержала $0,1\text{--}2$ мг/кг Hg, содержание металла в золе растений повышалось до 20 мг/кг. Еще больше Hg было обнаружено в золе цветной капусты (35 мг/кг), выросшей в саду, где 12 месяцев назад применялся содержащий Hg фунгицид [18].

Таким образом, в результате проведенных объемных исследований в г. Амурске выявлено нарушение металло-лигандного гомеостаза в организме подростков г. Амурска, связанное с элементарным дисбалансом и поллютантным загрязнением территории токсичными и потенциально токсичными элементами.

Согласно оценкам экологов, в Амурске до сих пор не утилизировали 400 т Hg [7]. Ликвидацию опасного объекта начали еще в 2013 г. – в течение двух лет по муниципальному контракту строительная компания демонтировала

пять из шести секций хлорного цеха. Кроме того, специалисты провели частичную демеркуризацию здания и почвы, собрав $2,5$ т Hg. Выделенных средств оказалось недостаточно.

В настоящее время (2022 г.) ситуация с загрязнением Hg в г. Амурске не улучшилась с момента обнаружения проблемы. Выделенные средства: 2012–2016 гг. – $76,7$ млн руб.; 2018 г. – 50 млн руб., потраченные на решение вопросов демонтажа и демеркуризации, позволили частично решить только проблему с визуальной очисткой территории – собрано $2,5$ т Hg, что составляет 6% от общего количества Hg, находящейся на территории ЦКК.

С 2008 до 2022 г. на территории ЦКК г. Амурска ничего не изменилось в лучшую сторону: не произведен демонтаж в полном объеме (смена подрядчиков происходит на фоне отсутствия перемен), демеркуризация проводилась ненадлежащим образом.

Из наших расчетов, которые сделаны под руководством компании «Эко-Восток» (www.lamp-dv.ru), следует, что сметная стоимость демеркуризационных работ составит порядка $1\,095\,500\,000$ руб. (рис. 11).

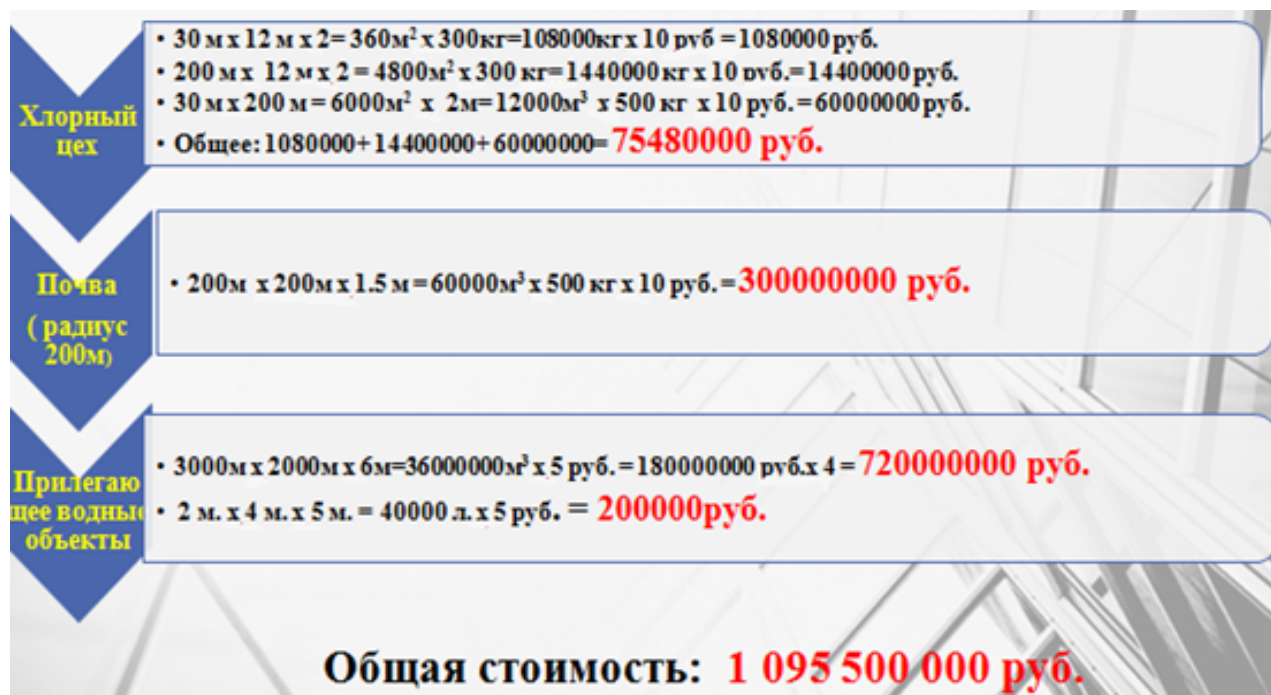


Рис. 11. Сметная стоимость демеркуризационных работ, по данным компании «Эко-Восток» (www.lamp-dv.ru)

Fig. 11. Estimated cost of demercurization works, according to the company "Eco-Vostok" (www.lamp-dv.ru)

Необходимо также учитывать, что население г. Амурска нуждается в медицинской реабилитации. Согласно нашим расчетам, смета по реабилитации составит $173\,300\,000$ руб. (рис. 12).

Таким образом, реализация проекта по организации нормального жизненного пространства

для населения, ликвидации экологической катастрофы, реабилитации пострадавших при самых скромных подсчетах будет стоить $1\,136\,680\,000$ руб. (рис. 13), что, как и 5 лет назад, имеет большое отличие от выделяемых средств.

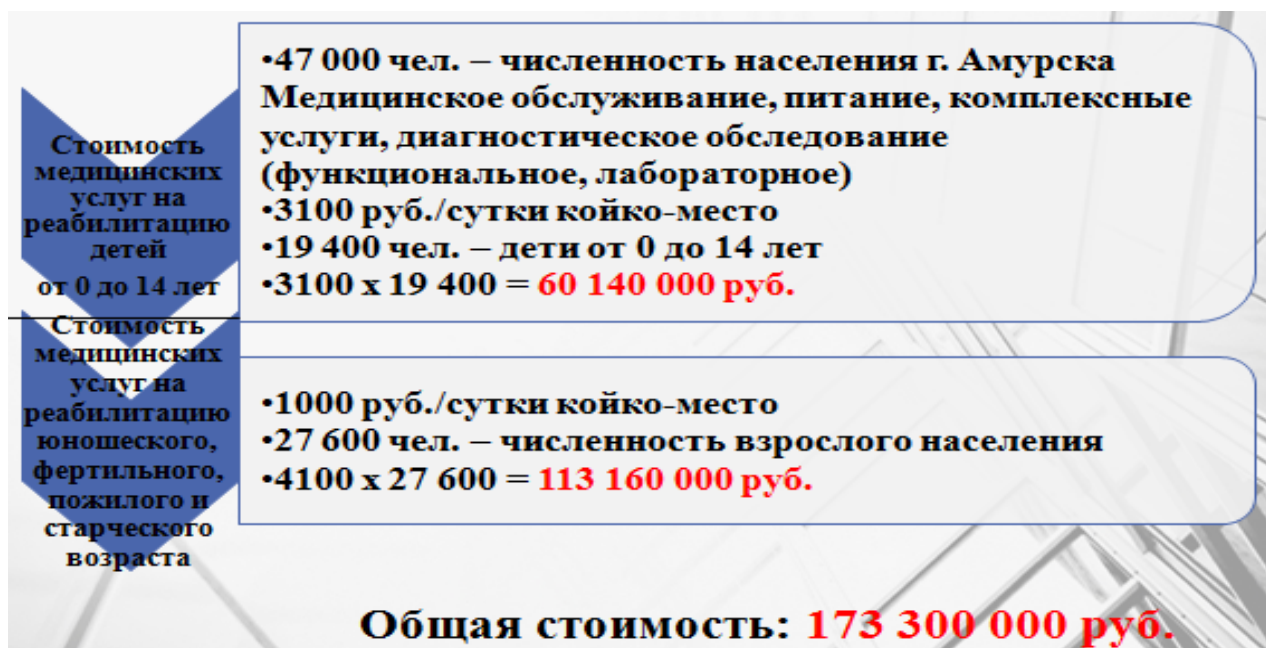


Рис. 12. Смета мероприятий по медицинской реабилитации населения г. Амурска

Fig. 12. Estimated measures for the medical rehabilitation of the population of the city of Amursk

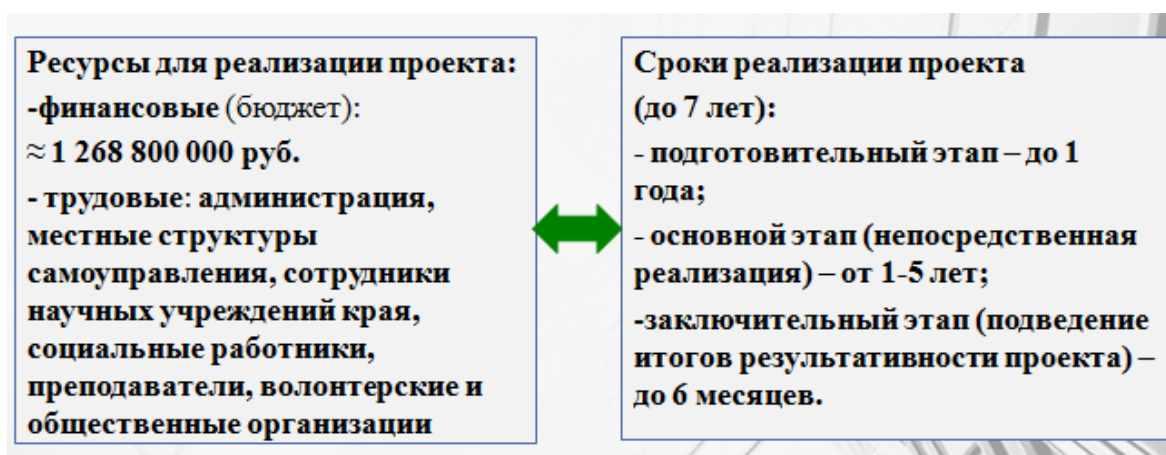


Рис. 13. Финансовые ресурсы для реализации проекта по демеркуризации, демонтажу бывшего ЦКК и реабилитации населения г. Амурска

Fig. 13. Financial resources for implementing the demercurization project, dismantling of the former Pulp and Cardboard Mill and rehabilitation of the population of Amursk

Таким образом, проблема ртутного загрязнения ЦКК, расположенного на территории г. Амурска, остается открытой – люди, проживающие в данной местности, подвергаются ежедневному и губительному воздействию сильнейшего поллютанта. Полученные в работе данные могут быть использованы для определения мероприятий по демеркуризации территории; профилактике дизадаптационных состояний организма в практической биологии и медицине.

Выявлены корреляционные взаимосвязи высоких концентраций токсичных металлов с низкой концентрацией эссенциальных элементов в СК. Учитывались случаи достоверно

корреляционно взаимосвязанных высоких концентраций токсичных металлов в обоих исследуемых субстратах:

1. В СК найдены достоверные взаимосвязи избыточной, в сравнении с физиологическим нормативом, концентрации Hg, Mn, Fe, Zn, U с дефицитной Se, Mo ($r = -0,501, -0,723$), что подтвердило предположение о нарушении металло-лигандного гомеостаза в обследуемых группах г. Амурска. В группах мальчиков и девочек г. Амурска в СК найдена высокая концентрация Hg, характеризующаяся как дизадаптивная. Концентрация Hg в СК мальчиков г. Амурска в 3,3 раза выше, чем у хабаровских.

2. Снижение содержания эссенциальных МЭ коррелирует с избыточной концентрацией Hg как в твердых, так и в жидких биосубстратах.

Пониженное содержание Se в волосах у амурских девочек достоверно коррелирует с повышенным содержанием Hg в СК ($r = 0,507$).

3. Учеными, магистрантами и аспирантами в лаборатории «Физиология человека» ДВГУПС в первом десятилетии XXI в. были определены достоверные корреляционные связи избыточного содержания Hg в волосах мальчиков гг. Амурска и Хабаровска с инверсионным показателем мочевой кислоты ($r = 0,357$ и $r = 0,325$ соответственно); дефицитное содержание Se в волосах мальчиков г. Амурска, достоверно коррелирующее с высоким содержанием мочевой кислоты в СК ($r = 0,488$), а у хабаровских – с концентрацией общего холестерина в СК ($r = 0,501$), а также взаимосвязи избыточной концентрации Hg в волосах амурских мальчиков с концентрацией общих белков ($r = -0,339$), а у хабаровских – с концентрацией общего холестерина ($r = 0,395$).

4. В группе девочек, проживающих в г. Амурске, определена достоверная корреляционная связь избыточной концентрации Hg в волосах с высоким содержанием мочевой кислоты в СК ($r = 0,350$). У хабаровских девочек концентрация Hg в волосах, соответствующая нормативу, взаимосвязана с мочевиной, содержание которой в СК также соответствует пределам возрастного физиологического норматива ($r = 0,382$).

Заключение

С момента банкротства, за 25-летний период, демонтаж и демеркуризационные меропри-

ятия на территории ЦКК не были произведены должным образом, в согласии с законодательством, утверждающим гигиенические и экологические нормативы (СанПиН 2.1.4.1074-01, СанПиН 2.1.5.980-00), что явилось причиной ртутного загрязнения территории и источников воды, а также влияет на состояние здоровья населения г. Амурска.

Несмотря на то, что Правительство Российской Федерации и Хабаровского края выделило более 126 млн руб. (2012–2016 гг. – 76,7 млн руб.; 2018 г. – 50 млн руб.) на демонтаж и демеркуризационные мероприятия на территории ЦКК г. Амурска, ремедиация территории и деконтаминация загрязненных Hg почв и грунтов не произведена. На территории г. Амурска осталось около 400 т жидкой Hg. Не проведен анализ соотношения размеров выделенных субсидий (с 2012 по 2018 г.) с размерами необходимых затрат на ремедиацию и деконтаминацию загрязненных Hg почв и грунтов, а также реабилитационные мероприятия для населения. Дисбаланс элементов предполагает, что избыток одних связан с дефицитом других, и проблема приобретает более масштабный характер за счет высокой концентрации токсичных и очень низкой концентрации эссенциальных элементов в окружающей среде и, соответственно, в организме человека. Трансформация Hg в биосфере имеет далеко идущие экологические последствия [21]. Вода, загрязненная ртутными соединениями, является источником экотоксикации всего живого, в том числе человека [22].

Список литературы

1. Евсеева Г. П., Печугина С. В., Яковлев Е. И. [и др.]. Экологическое воздействие качества окружающей среды Хабаровского края на уровень заболевания детского населения // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 4. С. 116–120.
2. Косолапов А. Б. Проблемы сохранения и укрепления здоровья населения Дальнего Востока России // Вестник Тихоокеанского государственного экономического университета. 2005. № 2. С. 85–96.
3. Янин Е. П. Основные способы ремедиации загрязненных ртутью почв и грунтов (зарубежный опыт) // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2011. № 5. С. 16–22.
4. Янин Е. П. Опыт ремедиации загрязненной ртутью территории (город Марктредвиц, Германия) // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2009. № 9. С. 70–95.
5. Калиева А. А., Ермиенко А. В. К вопросу о ртутном загрязнении территории Павлодарского химзавода // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 4, № 2. С. 116–120.
6. Маторова Н. И., Коваль П. В., Адрулайтис Л. Д. [и др.]. Опасность ртутного загрязнения и принципы здорового, безопасного питания на территориях с повышенной ртутной нагрузкой (Приангарье) / под ред. Н. В. Ефимовой. Иркутск : НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2004. 47 с.
7. Амурский целлюлозно-картонный комбинат // Live Journal. 2012. URL: <https://cvarnou.livejournal.com/22343.html>
8. Масс-спектральное с индуктивно-связанной плазмой определение элементов примесей в природных водах. М. : МПР РФ, 2002. 24 с.
9. Прайс В. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. М. : Мир, 1976. 358 с.
10. Игошин А. Н., Боженко В. В., Бакин Е. А. Система статистической обработки медицинских данных // Научная сессия ГУАП. СПб., 2019. С. 255–259.

11. Матюхин В. А., Разумов А. Н. Экологическая физиология человека и восстановительная медицина. М. : ГЭОТАР МЕДИЦИНА, 1999. 335 с.
12. Билибина З. Ю., Целых Е. Д., Евсеева Г. П. [и др.]. Инверсии биохимических показателей сыворотки крови как предиктор уровня заболеваемости подростков, проживающих в условиях техногенного загрязнения среды Хабаровского края // Ученые записки Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета им. Н. Г. Чернышевского. Сер.: Естественные науки. 2011. № 1. С. 22–31.
13. Литвин Ю. М., Миронов Р. А., Целых Е. Д. Влияние меркуризации водных источников на кумуляцию ртути в шерсти овец // Материалы 57-й ежегод. науч.-практ. студ. конф. Хабаровск : Изд-во ДВГГУ, 2009. С. 73–77.
14. Литвин Ю. М., Целых Е. Д., Козлов В. К. Активность эндокринной системы и характеристики полового и физического развития подростков Хабаровского края // Ученые записки Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета им. Н. Г. Чернышевского. 2011. № 1. С. 102–111.
15. Целых Е. Д., Литвин Ю. М., Билибина З. Ю. [и др.]. Особенности биохимического, эндокринного и металло-лигандного статуса организма подростков, проживающих в условиях техногенного загрязнения территории г. Амуурска Хабаровского края // Состояние здоровья детей и подростков на современном этапе : материалы науч.-практ. конф. (г. Хабаровск, 20–21 октября 2011 г.). Хабаровск : Арно, 2011. С. 172–175.
16. Ефимова Н. В., Дьякович М. П., Бичева Г. Г. [и др.]. Изучение здоровья населения в условиях воздействия техногенной ртути // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2007. № 2. С. 75–79.
17. Целых Е. Д., Белова Н. В., Анненкова Е. В. Показатели крови, отражающие белковый, липидный и углеводный обмен и толщина семи жировых складок как критерии адекватности питания подростков коренного и пришлого населения Нанайского района // Клинические и фундаментальные аспекты состояния здоровья коренного и пришлого населения в Дальневосточном федеральном округе. Хабаровск : Краевая психиатрическая больница, 2007. С. 44–45.
18. Целых Е. Д., Евсеева Г. П., Козлов М. В. Оценка отношения шансов заболеваемости с учетом состояния биохимических показателей крови и мочи и микроэлементного статуса у подростков Нанайского района // Современные факторы формирования, методы оценки и прогнозирования общественного здоровья на территории Дальневосточного региона. Хабаровск : ХФ ДНЦ ФПД СО РАМН – НИИ ОМиД – МЗХК ДВГГУ РЗ, 2008. С. 307–312.
19. Полещук А. Е., Миронов Р. А., Ахтямов М. Х. Мониторинг состояния окружающей среды г. Амуурска в течение 25 лет, после банкротства целлюлозно-картонного комбината // Актуальные вопросы современной медицины : материалы IV Дальневост. мед. молодеж. форума. Хабаровск : Изд-во ДВГМУ, 2020. С. 60–61.
20. Целых Е. Д., Билибина З. Ю., Литвин Ю. М. Адаптивные реакции структурно-функционального статуса организма подростков, проживающих в зоне техногенного загрязнения г. Амуурска Хабаровского края // Молодежь Востока России: история и современность : материалы IV Всеросс. науч.-практ. конф. (24 ноября 2009 г.). Хабаровск : ДВАГС, 2009. С. 45–47.
21. Петрова Е. В. Миграция токсичных веществ в окружающей среде // Проблемы экологического образования в XXI-м веке. Владимир, 2018. С. 193–197.
22. Щербина О. Н., Мыхаличко Б. М., Бедзай А. А., Щербина И. А. Токсикологическая оценка и хроматографическое обнаружение соединений ртути в окружающей среде // Экологічна безпека. 2013. № 1. С. 64–67.

References

1. Evseeva G.P., Pechugina S.V., Yakovlev E.I. [et al.]. Ecological impact of the environmental quality of the Khabarovsk Territory on the level of disease in the child population. *Regional'nye problemy* = Regional problems. 2018;21(4):116–120. (In Russ.)
2. Kosolapov A.B. Problems of maintaining and strengthening the health of the population of the Far East of Russia. *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* = Bulletin of the Pacific State Economic University. 2005;(2):85–96. (In Russ.)
3. Yanin E.P. The main methods of remediation of mercury-contaminated soils (foreign experience). *Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnikh resursov* = Problems of the environment and natural resources. 2011;(5):16–22. (In Russ.)
4. Yanin E.P. Experience in remediation of mercury-contaminated territories (Marktredwitz, Germany). *Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnikh resursov* = Problems of the environment and natural resources. 2009;(9):70–95. (In Russ.)
5. Kalieva A.A., Ermienko A.V. On the issue of mercury contamination of the territory of the Pavlodar chemical plant. *Interespo Geo-Sibir'* = Interexpo Geo-Siberia. 2016;4(2):116–120. (In Russ.)
6. Matorova N.I., Koval' P.V., Adrulyaytis L.D. [et al.]. *Opasnost' rtutnogo zagryazneniya i printsipy zdorovogo, bezopasnogo pitaniya na territoriyakh s povyshennoy rtutnoy nagruzkoj (Priangar'e)* = The danger of mercury pollution and the principles of healthy, safe nutrition in areas with high mercury load (The Angara Region). Irkutsk: NTs RVKh VSNTs SO RAMN, 2004:47. (In Russ.)
7. Amur Pulp and Cardboard Mill. *Live Journal*. 2012. (In Russ.). Available at: <https://cvarnou.livejournal.com/22343.html>

8. *Mass-spektral'noe s induktivno-svyazannoy plazmoy opredelenie elementov primesey v prirodnykh vodakh* = Mass spectral determination of impurity elements in natural waters with inductively coupled plasma. Moscow: MPR RF, 2002:24. (In Russ.)
9. Prays V. *Analiticheskaya atomno-absorbtsionnaya spektroskopiya* = Analytical atomic absorption spectroscopy. Moscow: Mir, 1976:358. (In Russ.)
10. Igoshin A.N., Bozhenko V.V., Bakin E.A. System of statistical processing of medical data. *Nauchnaya sessiya GUAP* = Scientific session of SUAI. Saint Petersburg, 2019:255–259. (In Russ.)
11. Matyukhin V.A., Razumov A.N. *Ekologicheskaya fiziologiya cheloveka i vosstanovitel'naya meditsina* = Environmental human physiology and restorative medicine. Moscow: GEOTAR MEDITSINA, 1999:335. (In Russ.)
12. Bilibina Z.Yu., Tselykh E.D., Evseeva G.P. [et al.]. Inversions of biochemical parameters of blood serum as a predictor of the incidence rate of adolescents living in conditions of technogenic contamination of environment in the Khabarovsk Territory. *Uchenye zapiski Zabaykal'skogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta im. N. G. Chernyshevskogo. Ser.: Estestvennye nauki* = Scientific notes of the Trans-Baikal State Humanitarian and Pedagogical University named after N. G. Chernyshevsky. Natural sciences series. 2011;(1):22–31. (In Russ.)
13. Litvin Yu.M., Mironov R.A., Tselykh E.D. Influence of mercurization of water sources on mercury accumulation in sheep wool. *Materialy 57-y ezhegod. nauch.-prakt. stud. konf.* = Proceedings of 57th annual research student conference. Khabarovsk: Izd-vo DVGGU, 2009:73–77. (In Russ.)
14. Litvin Yu.M., Tselykh E.D., Kozlov V.K. Activity of the endocrine system and characteristics of sexual and physical development of adolescents in the Khabarovsk Territory. *Uchenye zapiski Zabaykal'skogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta im. N. G. Chernyshevskogo* = Scientific notes of the Trans-Baikal State Humanitarian and Pedagogical University named after N. G. Chernyshevsky.. 2011;(1):102–111. (In Russ.)
15. Tselykh E.D., Litvin Yu.M., Bilibina Z.Yu. [et al.]. Features of the biochemical, endocrine and metal-ligand status of the body of adolescents living in conditions of technogenic pollution of the city of Amursk, the Khabarovsk Territory. *Sostoyanie zdorov'ya detey i podrostkov na sovremennom etape: materialy nauch.-prakt. konf. (g. Khabarovsk, 20–21 oktyabrya 2011 g.)* = The state of health of children and adolescents at the present stage: proceedings of the research conference (Khabarovsk, 20–21 October, 2021). Khabarovsk: Arno, 2011:172–175. (In Russ.)
16. Efimova N.V., D'yakovich M.P., Bicheva G.G. [et al.]. Study of public health under the influence of technogenic mercury. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk* = Bulletin of the East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences. 2007;(2):75–79. (In Russ.)
17. Tselykh E.D., Belova N.V., Annenkova E.V. Blood parameters reflecting protein, lipid and carbohydrate metabolism and the thickness of semi fat folds as criteria for the adequacy of nutrition in adolescents of the indigenous and alien population of the Nanaian region. *Klinicheskie i fundamental'nye aspekty sostoyaniya zdorov'ya korenogo i prishlogo naseleniya v Dal'nevostochnom federal'nom okruge* = Clinical and Fundamental Aspects of the health of the indigenous and alien population in the Far Eastern Federal District. Khabarovsk: Kraevaya psikiatricheskaya bol'nitsa, 2007:44–45. (In Russ.)
18. Tselykh E.D., Evseeva G.P., Kozlov M.V. Assessment of the odds ratio of morbidity, taking into account the state of biochemical parameters of blood and urine and microelement status in adolescents of the Nanaian region. *Sovremennye faktory formirovaniya, metody otsenki i prognozirovaniya obshchestvennogo zdorov'ya na territorii Dal'nevostochnogo regiona* = Modern factors of formation, methods for assessing and predicting public health in the Far East region. Khabarovsk: KhF DNTs FPD SO RAMN – NII OMiD – MZKhK DVGGU RZ, 2008:307–312. (In Russ.)
19. Poleshchuk A.E., Mironov R.A., Akhtyamov M.Kh. Monitoring the state of the environment in the city of Amursk for 25 years, after the bankruptcy of the pulp and cardboard mill. *Aktual'nye voprosy sovremennoy meditsiny: materialy IV Dal'nevost. med. molodezh. foruma* = Relevant issues of modern medicine: proceedings of IV Far East medical youth forum. Khabarovsk: Izd-vo DVGMU, 2020:60–61. (In Russ.)
20. Tselykh E.D., Bilibina Z.Yu., Litvin Yu.M. Adaptive reactions of the structural and functional status of the organism of adolescents living in the zone of technogenic pollution of the city of Amursk, the Khabarovsk Territory. *Molodezh' Vostoka Rossii: istoriya i sovremennost': materialy IV Vseross. nauch.-prakt. konf. (24 noyabrya 2009 g.)* = Youth of the East of Russia: history and modern times: proceedings of IV All-Russian research conference (24 November, 2009). Khabarovsk: DVAGS, 2009:45–47. (In Russ.)
21. Petrova E.V. Migration of toxic substances in the environment. *Problemy ekologicheskogo obrazovaniya v XXI-m veke* = Problems of environmental education in the 21st century. Vladimir, 2018:193–197. (In Russ.)
22. Shcherbina O.N., Mykhalichko B.M., Bedzay A.A., Shcherbina I.A. Toxicological evaluation and chromatographic detection of mercury compounds in the environment. *Ekologichna bezpeka* = Environmental safety. 2013;(1):64–67. (In Russ.)