

УДК: 612.799.1: 546.49: 631.42: 574 (470+571)

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОМОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РТУТИ В КРЫМСКОМ РЕГИОНЕ

**Евстафьева Елена Владимировна**<sup>1,2</sup>,  
e.evstafeva@mail.ru

**Барановская Наталья Владимировна**<sup>3</sup>,  
nata@tpu.ru

**Тымченко Светлана Леонидовна**<sup>1</sup>,  
rybqa@yahoo.com

**Богданова Анна Михайловна**<sup>1</sup>,  
annuta2607@yandex.ru

**Нараев Геннадий Павлович**<sup>4</sup>,  
m\_eko@rk.gov.ru

**Сологуб Наталия Александровна**<sup>4</sup>,  
m\_eko@rk.gov.ru

**Наркович Дина Владимировна**<sup>3</sup>,  
narkovich@tpu.ru

<sup>1</sup> Медицинская академия им. С.И. Георгиевского  
(структурное подразделение ФГАОУ ВО Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского),  
Россия, 295006, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7.

<sup>2</sup> ГАУ РК УНЦ «Экопарк»,  
Россия, 298432, п. Береговое, ул. Большая Морская, 40.

<sup>3</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

<sup>4</sup> Министерство экологии и природных ресурсов Республики Крым,  
Россия, 295022, г. Симферополь, ул. Кечкеметская, 198.

Актуальность работы обусловлена необходимостью мониторинга содержания ртути в экосистемах и биосубстратах человека, как начального этапа исследований по оценке воздействия на экосистемы и организм человека с целью установления региональных экологических нормативов ее содержания с учетом природной и техногенной специфики региона.

**Цель работы:** обобщение полученных ранее данных экологического мониторинга и новых данных биологического мониторинга с целью их сопоставления и оценки информативности используемых подходов при проведении медико-экологического мониторинга на территории Республики Крым.

**Методы исследования.** Содержание ртути в волосах определяли атомно-абсорбционным методом с использованием анализатора ртути с зеемановской коррекцией неселективного поглощения «РА-915М», пиролитической приставки «ПИРО-915+» и пакета программ RA915P в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета.

**Результаты.** Установлена территориальная неоднородность распределения ртути в биосубстратах (волосах) жителей северного, восточного, западного, южного и центрального географических регионов крымского полуострова, которая может быть обусловлена как природными, так и техногенными особенностями региона проживания. При этом наиболее низкое ее содержание ( $\text{min}=0,033$  мкг/г,  $\text{max}=0,072$  мкг/г) отмечалось в волосах жителей сельскохозяйственных территорий центрального региона, а наиболее высокие значения ( $\text{min}=0,178$  мкг/г,  $\text{max}=0,312$  мкг/г) имели место у жителей восточного и, в особенности, южного ( $\text{min}=0,134$  мкг/г,  $\text{max}=0,505$  мкг/г) регионов крымского полуострова. Выявленные значения ртути практически не выходили за пределы принятых нормативных значений. Однако два обстоятельства указывают на недостаточную информационную ценность традиционных гигиенических нормативов. Во-первых, данные экологического мониторинга, проведенного ранее с использованием европейских экосистемных экологических нормативов (критические нагрузки), и результаты оценки их превышений фактической нагрузкой ртутью по данным длительных (не менее года) полевых исследований. Во-вторых, физиологические эффекты, установленные для таких же уровней ртути в отношении центральной нервной и иммунной систем взрослых и детей, проживающих в Крыму, также указывают на необходимость дальнейших исследований.

**Ключевые слова:**

Ртуть, критические нагрузки, почвы, волосы, Крымский полуостров.

## Введение

Антропогенная трансформация биосферы существенным образом изменяет круговорот веществ и элементов, что влечет изменение химического гомеостаза внутренней среды организма человека, как конечного консумента большинства трофических цепей. При этом возможные последствия для здоровья зависят как от уровня содержания в организме человека элементов, так и от степени их токсичности, биологической роли и физиологической значимости. Особенно существенные эффекты наблюдаются со стороны тяжелых металлов, многие из которых находятся в конкурентных отношениях с биофильными и, что особенно важно, эссенциальными элементами. К числу наиболее токсичных тяжелых металлов относится ртуть, и, согласно заключению международных экспертных сообществ [1–3], этот металл отнесен к приоритетным с точки зрения необходимости первоочередного нормирования воздействия как на экосистемы, так и на организм человека. Еще больший интерес к этому металлу обуславливает его высокая подвижность, что облегчает перенос между средами и объектами окружающей среды, а также усугубляет проблему трансграничного переноса. В связи с этим актуальной задачей при изучении возможной роли ртути как опасного антропогенного фактора на различных территориях является ее мониторинг и выявление как локальных источников ртутного загрязнения естественного и искусственного происхождения, так и определение доли его поступления из источников, расположенных на других территориях.

Высокое разнообразие природных и техногенных условий на территории Крымского полуострова обуславливает особую актуальность изучения разнообразных аспектов распределения этого металла в компонентах окружающей среды и его влияния на экосистемы и организм человека. Было показано, что природные источники поступления ртути в биосферу Крымского полуострова в соответствии с требованиями отечественных гигиенических нормативов (уточнение авторов статьи) не представляют угрозы для жизнеобитания, хотя участки влияния некоторых из них рассматриваются как локальные геопатогенные зоны [4]. В то же время, как указывает источник, содержание ртути в техногенных аномалиях на территории Крымского полуострова в непосредственной близости к источнику загрязнения в отдельных случаях значительно превышает фоновые, приближаясь по значениям к природно-аномальным концентрациям ртути [4]. Более того, показано, что в черте г. Симферополь, например, у детей, проживающих и обучающихся в школе поблизости со свалкой, в почвах которой обнаружено превышение ртути, ее содержание в волосах находилось в пределах нижней половины условной нормы, однако при этом установлены определенные эффекты влияния на функциональное состояние центральной нервной и сердечно-сосудистой систем [5]. Аналогичное на-

блюдение имело место на сельскохозяйственных территориях северного Крыма, находящихся поблизости к крупным источникам промышленного загрязнения, в отношении иммунной системы жителей разного возраста. При этом на таких территориях содержание ртути в волосах в пределах условной нормы у детей 7–15 лет оказывалось значимым для функционального состояния иммунной системы, оказывая иммуносупрессивное действие [6].

В связи с этим проблема изучения распространности этого тяжелого металла в окружающей среде на территории Крымского полуострова является актуальной как с точки зрения биогеохимической специфики региона, так и для определения общих закономерностей влияния этого элемента на компоненты биосферы и, в особенности, на организм человека. С этой целью в Крымском регионе ведутся комплексные исследования, направленные на изучение различных аспектов присутствия ртути в компонентах окружающей среды и ее влияния на здоровье человека. Среди разнообразных подходов к изучению данной проблемы особого внимания заслуживают биомониторинговые исследования содержания ртути в биосубстратах человека, которые являются интегральным индикатором состояния окружающей среды [7–10]. С другой стороны, это не исключает необходимость оценки собственно экологической ситуации в среде обитания человека, в данном случае на предмет присутствия в ней ртути и степени техногенного загрязнения компонентов биосферы этим элементом.

На этот счет существующие традиционные подходы посредством сравнения с отечественными гигиеническими нормативами с позиций современного знания имеют весьма ограниченную информационную ценность [11]. Более прогрессивным и актуальным на сегодняшний день является использование экологических нормативов – критических нагрузок (КН), учитывающих природную устойчивость экосистем и циркуляцию в них загрязнителя. Методика расчета КН разработана и предложена к внедрению в практику экологического нормирования экспертами европейской конвенции о трансграничных переносах атмосферных загрязнителей на дальние расстояния [1] и применялась на некоторых территориях Российской Федерации [12, 13]. Ранее нами были опубликованы результаты расчета КН свинца, кадмия и ртути и определения их превышений при полевых исследованиях в разных регионах Крымского полуострова [14].

Настоящая статья обобщает полученные ранее данные экологического мониторинга и новые данные биологического мониторинга с целью их сопоставления и оценки информативности используемых подходов при проведении медико-экологического мониторинга на территории Республики Крым.

## Материалы и методики исследования

Комплексные медико-экологические мониторинговые исследования в Республике Крым в течение последнего десятилетия ведутся в трех направ-

влениях: оценка экологической ситуации, оценка здоровья населения на конкретных территориях и интеграция медико-экологических данных с целью оценки антропогенного воздействия на здоровье [15]. Для оценки экологической ситуации в отношении ртути использовали европейские методики по расчету критических нагрузок тяжелых металлов и их превышений. Для расчета критических нагрузок ртути нами был выбран т. н. основанный на эффекте подход (effect-based approach), учитывающий возможное негативное воздействие тяжелого металла на биоту при его определенных (критических) концентрациях в средах (почва, почвенных растворах, воде, растительной продукции и т. п.). Он базируется на равновесном (сбалансированном) соотношении всех существенных входящих в экосистему и исходящих из нее потоков металла. Картирование нагрузок осуществляли для ячеек сетки 5×5 км, которые применяются в международной программе ЕМЕП. Так как основная картографическая продукция для Крыма находится в системе координат WGS84 зона 36N, геоинформационные слои с сеткой 5×5 км также были переведены в данную систему координат, и в дальнейшем все расчеты площадей проводили в ней. Данные сетки были созданы в форматах геоинформационной системы ArcView 3.2. В результате полевых мониторинговых исследований в нескольких регионах Крымского полуострова определяли фактическую нагрузку на экосистемы (лесные и сельскохозяйственные), а по ее сопоставлению с КН оценивали степень превышения над допустимыми для данной территории нагрузками. Подробное описание методики приведено в [14].

Для характеристики уровней содержания ртути в организме человека были выполнены биомониторинговые исследования, которые заключались в анкетировании и обследовании на предмет содержания ртути в волосах практически здоровых лиц: 14 юношей и 16 девушек (средний возраст  $17 \pm 0,5$  лет), проживающих с рождения в 9 административных районах Республики Крым, которые условно представляли южный, северный, восточный, западный и центральный регионы полуострова. Пробы волос получали путем состригания с прикорневой части (2–3 мм) с 3–5 мест на затылочной области головы, ближе к шее, в количестве не менее 5 г [16]. Содержание ртути в волосах определяли атомно-абсорбционным методом с использованием анализатора ртути с зеemanовской коррекцией неселективного поглощения «РА-915М», пиролитической приставки «ПИРО-915+» и пакета программ RA915P в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета. В качестве стандарта использовали ГСО ЛБ-1 «Листья березы», содержание ртути 37 нг/г.

Анализ полученных результатов проводили с использованием «Microsoft Office Excel 2007», Statistica 6.0 (StatSoft, USA). Обработку получен-

ных результатов проводили непараметрическими методами, так как распределение данных, проверенных с помощью критериев Шапиро–Уилка, Колмогорова–Смирнова и Лиллифорса, отличалось от нормального. Для описания полученных данных использовали значения медианы (Me), 25 и 75 перцентили ( $p_{25}$ ,  $p_{75}$ ), а также минимальные (min) и максимальные (max) значения концентраций. Поскольку объем выборки является недостаточным для количественного сравнения, было проведено качественное сравнение статистических параметров, характеризующих содержание ртути в волосах жителей исследуемых регионов.

### Результаты исследования и обсуждение

В выполненных ранее исследованиях [14] расчет критических нагрузок ртути для лесных и сельскохозяйственных экосистем крымского полуострова (рис. 1, 2) показал, что их значения могут быть допустимы в пределах от 0,04 до 6,04 г/га/год в зависимости от типа экосистемы и площади, занимаемой ею в квадрате сетки территории, а анализ результатов полевых исследований фактической нагрузки показал превышение КН ртути только на северных сельскохозяйственных, но подвергающихся загрязнению расположенными поблизости крупными промышленными предприятиями, территориях. Так, фактическая нагрузка ртутью на территории с. Перекоп превысила допустимую для этой территории КН (max 0,53 кг/га/год) на 58,8 %. Интересно отметить, что в проведенных ранее исследованиях [6] содержание ртути в почве на территории этого села колебалось от 0,03 до 0,50 мг/кг, что существенно ниже традиционных гигиенических нормативов – ПДК (2,1 мг/кг).

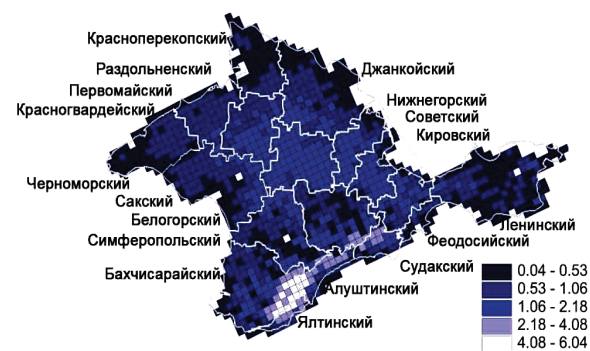
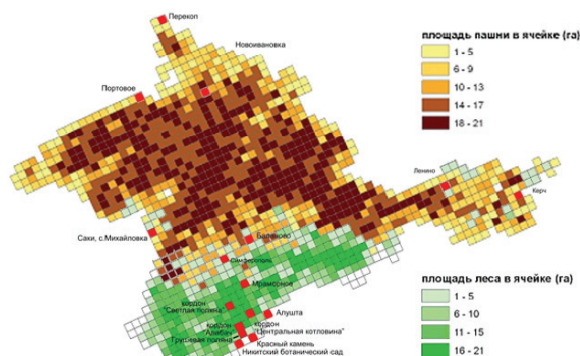


Рис. 1. Критические нагрузки ртути (кг/га/год) для лесных и сельскохозяйственных экосистем крымского полуострова

Fig. 1. Critical loads of mercury (kg/ha/year) for forest and rural ecosystems of the Crimean Peninsula

Разумеется, различия в качественной оценке экологической ситуации посредством сравнения с традиционными гигиеническими нормативами и современными экологическими нормативами в виде КН могут быть обусловлены тем, что они проводились в разные годы. Однако выявленное в то же

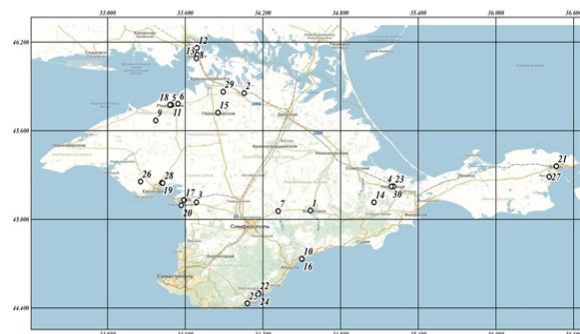
время иммуносупрессивное действие ртути у жителей этого села при ее содержании как в почвах, так и волосах жителей в пределах ПДК [6] дает основание для заключения о недостаточной объективности информации, полученной путем сравнения разовых измерений с гигиеническими нормативами содержания этого металла в различных средах.



**Рис. 2.** Расположение мониторинговых площадок на территории крымского полуострова для оценки фактической нагрузки ртутью и ее превышений

**Fig. 2.** Location of monitoring sites on the territory of the Crimean Peninsula for the current deposition level of mercury and its exceedance assessment

Представляло интерес сравнить данные экологического мониторинга с результатами биомониторингового исследования на тех же территориях. Проведенный в настоящем исследовании анализ содержания ртути в волосах жителей из разных регионов Крыма (рис. 3, 4) показал, что для всей группы тестируемых медиана содержания ртути в волосах составляла 0,083 мкг/г ( $p_{25}=0,048$  мкг/г,  $p_{75}=0,149$  мкг/г,  $\min=0,017$  мкг/г,  $\max=0,505$  мкг/г) при условной норме 0,5–1 мкг/г [17].

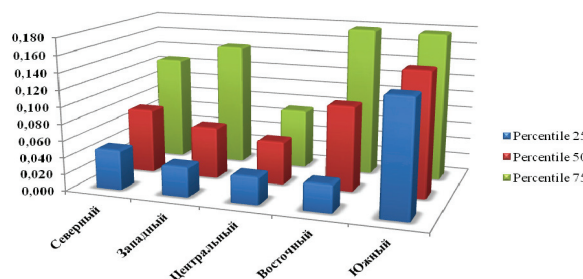


**Рис. 3.** Локусы проведения биомониторинговых исследований по определению содержания ртути в волосах жителей крымского полуострова

**Fig. 3.** Biomonitoring research sites used to determine mercury content in human hair in the Crimean Peninsula

Качественное сравнение концентраций ртути в волосах жителей разных регионов Крыма показало, что наиболее низкое ее содержание ( $\min=0,033$  мкг/г,  $\max=0,072$  мкг/г) отмечалось в волосах жителей сельскохозяйственных территорий центрального региона (Белогорский район), несколь-

ко выше ( $\min=0,020$  мкг/г,  $\max=0,198$  мкг/г) – в западном (Сакский район), еще выше ( $\min=0,017$  мкг/г,  $\max=0,284$  мкг/г) – в северном регионе (Красноперекоский и Раздольненский районы), а наиболее высокие значения ( $\min=0,178$  мкг/г,  $\max=0,312$  мкг/г) имели место у жителей восточного (г. Керчь) и, в особенности, южного ( $\min=0,134$  мкг/г,  $\max=0,505$  мкг/г) регионов (Алуштинский и Ялтинский районы) Крымского полуострова. На первый взгляд имеется противоречие между данными экологического и биологического мониторинга ртути на территории северного Крыма, однако прямое сопоставление этих данных именно по с. Перекоп, находящемуся в 3 км от крупного завода «Титан», показывает, что здесь концентрация ртути в волосах жителей составляла 0,260 мкг/г, что существенно выше, чем в других точках отбора проб в этом регионе, часть из которых располагалась вблизи заповедных территорий. Безусловно, это свидетельствует о том, что только географическая дифференциация территорий является недостаточной и требуется обязательный учет техногенных факторов. В южном регионе, где не представлены значительные локальные источники ртутного загрязнения, напротив, выявленные величины содержания ртути в волосах были менее вариабельны (рис. 4).



**Рис. 4.** Содержание ртути в волосах жителей различных регионов крымского полуострова, мкг/г

**Fig. 4.** Mercury content in human hair in different regions of the Crimean Peninsula, mkg/g

Таким образом, сравнительный анализ содержания ртути в волосах жителей разных регионов Республики Крым показал соответствие принятой в настоящее время условной норме, однако наблюдается территориальная дифференциация ее содержания в таком биосубстрате организма человека как волосы.

Анализ данных русскоязычной литературы [5, 6, 18–28] показывает еще более значимые различия в выявляемых концентрациях ртути в биоматериалах (волосах) человека в разных регионах Российской Федерации и СНГ (рис. 5), которые, по всей видимости, обусловлены как природными и техногенными условиями регионов, так, в том числе, и физиологическими особенностями обследуемых контингентов. Например, выявлены более высокие уровни ртути в волосах легкоатлетов в г. Симферополь, что может быть связано с интенсивным выведением металла вследствие интенс-

фикации обмена веществ при систематических физических нагрузках [18].

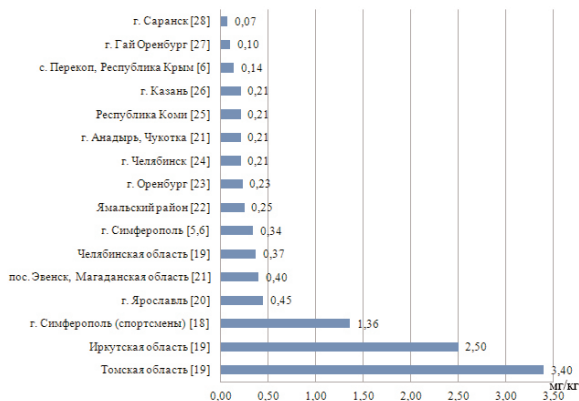


Рис. 5. Содержание ртути в волосах жителей различных регионов Российской Федерации и СНГ, мкг/г

Fig. 5. Mercury content in human hair from different regions of the Russian Federation and CIS, mkg/g

Выявленные в нашем исследовании различия также могут быть предположительно обусловлены природными и техногенными особенностями территорий. Наиболее понятными являются согласующиеся результаты биомониторингового и экологического исследования содержания ртути на территории с. Перекоп, находящегося вблизи крупного промышленного предприятия. Вполне закономерный характер наблюдали также в отношении наиболее высоких и наименее переменных концентраций ртути в волосах жителей южнобережных зон (рис. 4). Однако на первый взгляд это не вполне согласуется с нашими результатами экологического мониторинга, которые показали отсутствие превышений критических нагрузок ртути, выпадающей с осадками, на наземные экосистемы данных территорий. Тем не менее, в обоих случаях, по результатам и биологического, и экологического мониторинга, превышений нормативных значений не выявлено, а более высокое содержание ртути в волосах жителей прибрежных территорий в сравнении с жителями других регионов Крымского полуострова, на наш взгляд, может быть обусловлено двумя возможными причинами. Во-первых, это может быть трансграничный атмосферный перенос. В пользу этого свидетельствуют модельные данные по эмиссии и распределению ртути в Европе, в соответствии с которыми нагрузка ртутью в результате трансграничного переноса практически на всей территории Крымского полуострова может составлять от 5 до 50 г/км<sup>2</sup>/год, что существенно выше рассчитанных нами критических нагрузок. Однако расхождение модельных и наблюдаемых данных только для влажных выпадений может достигать ±45 % [29]. В то же время при малом количестве осадков и более высоком содержании в водяных парах, чем в осадках [30], доля ртути в сухих выпадениях и аэрозолях может быть существенно выше и оказывать прямое воздействие на организм человека непосредственно

через вдыхаемый воздух. С вдыханием аэрозолей морской воды, которая характеризуется в отношении содержания ртути как наиболее неблагоприятная среда [31–33], что характерно, в том числе, для водной экосистемы Черного моря [34], может быть связана вторая причина наблюдаемых нами более высоких концентраций ртути в организме жителей этих территорий. Последнее предположение представляется тем более вероятным, что подобная закономерность наблюдалась ранее на южном берегу Крымского полуострова для радионуклидов, когда их высокие выпадения на южнобережной полосе Крымского полуострова не были связаны с уровнем атмосферных осадков [35].

В сельскохозяйственных районах равнинного Крыма отсутствуют природные источники ртутного загрязнения, но его причиной может быть использование ртуть-содержащих фунгицидов. Для Керченского полуострова основным природным источником поступления ртути в биосферу являются грязевые вулканы, во всех продуктах деятельности которых обнаружены повышенные содержания ртути, а также промышленные предприятия города, в пределах промышленных площадок которых содержание ртути в почвах достигает 28,0 мг/кг [4].

Так или иначе, следующим шагом региональных медико-экологических исследований должен стать поиск причин и источников того или иного уровня загрязнителя в изучаемых компонентах окружающей среды. Необходимость дальнейших региональных исследований подтверждается также и тем обстоятельством, что по мере накопления научных данных пересматриваются нормативы для поллютантов. В частности, ранее безопасным уровнем ртути в волосах считали 30–40 мкг/г [36, 37]. Некоторые авторы считают, что концентрация ртути в волосах не должна превышать 4,4±0,4 мкг/г [38]. В последнее время условной нормой содержания ртути в волосах считают содержание от 0 до 2 мкг/г. Однако, как было указано выше, и при этих низких концентрациях наблюдаются значимые физиологические эффекты. Определение их характера на фоне природных и техногенных особенностей регионов позволит предложить региональные экологические нормативы, наилучшим образом отражающие реальное антропогенное воздействие на организм человека.

### Заключение

Изложенные выше данные экологического и биологического мониторинга ртути в экосистемах и биосубстратах жителей разных регионов Крымского полуострова демонстрируют, на наш взгляд, безусловное преимущество экосистемного подхода в виде использования таких экологических нормативов, как критические нагрузки и содержание загрязнителей в биосубстратах человека для комплексной оценки экологической ситуации. Выявленная неоднородность территориального распределения ртути в компонентах экосистем и биосуб-

стратах человека в крымском регионе, а также полученные ранее сведения о физиологической значимости этого элемента при его содержании в более низких концентрациях, чем установленные в настоящем исследовании, свидетельствуют о необходимости дальнейших мониторинговых исследований для установления физиологически обоснованных нормативов допустимого содержания ртути в организме человека с учетом специфики региона проживания. Эта задача представляется тем более важной в современных условиях интенсивного народно-хозяйственного развития полуострова и его геополитической роли, что требует ясного понимания как значимости современной степени техногенной нагрузки, так и главным об-

разом будущих допустимых нагрузок на разнообразные экосистемы Крымского полуострова с учетом их природных буферных свойств и возможностей гомеостатического регулирования при планировании регионального развития территорий.

*Работа выполнена в ходе реализации программы академической мобильности на базе ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Томский политехнический университет" в рамках Сети академической мобильности "Развитие научных исследований в области экспериментальной медицины - РНИЭМ", договор № 13-15/5-550 от 20 августа 2015 г. Авторы выражают особую благодарность за оказанную помощь заведующей лабораторией микрэлементного анализа, к.х.н., с.н.с., доценту кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов НИ ТПУ Осиповой Нине Александровне.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Spranger T., Lorenz U., Gregor H.D. Manual on methodologies and criteria for modeling and mapping critical loads & levels and air pollution effects, risks and trends. – Berlin: Fed. Environ. Agency (Umweltbundesamt), UBA-Texte, 2004. – 307 p.
2. Zhao J., Becker P.R., Meng X.Z. Securing a Strategy to Monitor Emerging Pollutants in the Regional and Global Environment: 2013 International Conference on Environmental Specimen Banks // Environmental Science and Pollution Research International. – 2015. – V. 22. – № 3. – P. 1555–1558.
3. IMOC – Inter organizational Programme for the Sound Management of Chemicals. A cooperative agreement among UNEP, ILO, FAO, WHO, UNIDO, UNITAR and OECD. Global Mercury Assessment. – Geneva: UNEP Chemicals, 2002. – 258 p.
4. Радченко А.И. Распределение ртути в ландшафтно-геохимических зонах Крыма // Минералогический журнал. – 1999. – Т. 21. – № 1. – С. 79–84.
5. Евстафьева И.А. Особенности функционального состояния центральной нервной и сердечнососудистой систем в связи с содержанием тяжелых металлов в организме подростков: дис. ... канд. биол. наук. – Симферополь, 2003. – 130 с.
6. Слюсаренко А.Е. Иммунологическая реактивность организма в различных условиях техногенного загрязнения среды тяжелыми металлами: дис. ... канд. биол. наук. – Симферополь, 2003. – 157 с.
7. Element analysis of biological materials. Current problems and techniques with special reference to trace elements. Appendix II. Technical reports series. – Vienna: IAEA, 1980. – № 197. – P. 351–367.
8. Mercury analysis in hair: Comparability and quality assessment within the transnational COPHES/DEMOCOPHES project / M. Esteban, B.K. Schindler, J.A. Jimenez, H.M. Koch, J. Angerer, M. Rosado, L. Bloemen // Environmental research. – 2015. – № 141. – P. 24–30.
9. Five hundred years of mercury exposure and adaptation / G. Lombardi, A. Lanzirrotti, C. Qualls, F. Socola, A.M. Ali, O. Appenzeller // Journal of biomedicine and biotechnology. – 2011. – № 2012. – P. 472858–472858.
10. Experimental design methodology applied to mercury determination: hair samples as a mercury bioindicator / M. Karimi, F. Aboufazel, H.R.L.Z. Zhad, O. Sadeghi, E. Najafi // Journal of AOAC International. – 2015. – V. 98. – № 1. – P. 176–182.
11. Биогеохимические основы экологического нормирования / В.Н. Башкин, Е.В. Евстафьева, В.В. Снакин, И.О. Алябина. – М.: Наука, 1993. – 312 с.
12. Bashkin V.N. Modern Biogeochemistry: Environmental Risk Assessment, 2<sup>nd</sup> ed. – New York: Springer Publishers, 2006. – 444 p.
13. Bashkin V.N. Biogeochemical technologies for managing pollution in polar ecosystems // Environmental Pollution. – 2016. – V. 26. – P. 7–18.
14. Подходы к оценке риска от действия тяжелых металлов на наземные экосистемы на территории Республики Крым / Е.В. Евстафьева, Г.П. Нараев, Н.А. Сологуб, С.А. Карпенко // Проблемы анализа риска. – 2015. – Т. 12. – № 5. – С. 6–15.
15. Евстафьева Е.В. Оценка экологического риска для здоровья на территории Республики Крым // Проблемы анализа риска. – 2014. – Т. 11. – № 5. – С. 30–38.
16. Kist A.A., Zhuk L.I. Human hair composition and the problems of global ecology. – Tashkent, USSR: Institute of Nuclear Physics of the Uzbek Academy of Sciences, 1991. – 60 p.
17. Ориентировочные фоновые и допустимые биологические уровни некоторых тяжелых металлов в биосубстратах у населения, не имеющего с ними профессионального контакта. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Приложение 1. Утверждено МПР РФ 30.11.1992. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_90799/37197b6e9878843ed021523902152b55a3767c1c/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90799/37197b6e9878843ed021523902152b55a3767c1c/) (дата обращения: 19.02.2017).
18. Вегето- и кардиоваскулотропное действие химических элементов при их эндогенном содержании в организме спортсменов / А.М. Богданова, С.Л. Тымченко, И.А. Евстафьева, Ю.А. Бояринцева, Е.В. Перекотий // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии: Труды IX Международной биогеохимической школы. – Барнаул, 2015. – Т. 2. – С. 66–69.
19. Очерки геохимии человека: монография / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, Т.Н. Игнатова, Д.В. Наркович, О.А. Денисова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 378 с.
20. The influence of physical activity on hair toxic and essential trace element content in male and female students / I.P. Zaitseva, A.A. Skalny, A.A. Tinkov, E.S. Berezkina, A.R. Grabeklis, A.V. Skalny // Biological trace element research. – 2015. – V. 163. – № 1–2. – P. 58–66.
21. Максимов А.Л., Луговая Е.А. Сравнительная оценка элементного статуса девочек-аборигенов различных районов Северо-Востока России // Экология человека. – 2010. – № 7. – С. 30–35.
22. Содержание металлов в волосах детей Ямало-Ненецкого автономного округа / О.М. Журба, В.С. Рукавишников, А.В. Меринов, А.Н. Алексеенко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 4 (1). – С. 175–177.

23. Нотова С.В. Элементный состав волос пациентов при различных заболеваниях // Вестник ОГУ. – 2005. – № 2 (40). – С. 55–58.
24. Тушиков В.А., Наумова Н.Л., Ребезов М.Б. Элементный состав волос как отражение экологической ситуации // Человек. Спорт. Медицина. – 2012. – № 21 (280). – С. 119–122.
25. Зайнуллин В.Г., Боднарь И.С., Кондратёнок Б.М. Особенности накопления химических элементов в волосах детского населения республики Коми // Известия Коми НЦ УрО РАН. – 2014. – № 2 (18). – С. 24–31.
26. Анализ содержания химических элементов в волосах девочек 16–17 лет, проживающих и обучающихся в районе г. Казани с развитой транспортной сетью / Н.Б. Дикопольская, Э. Салахьева, Н.В. Святова, Ф.Г. Ситдинов // Вестник ТГГПУ. – 2008. – № 15. – С. 67–72.
27. Михайлов А.Н. Биоаккумуляция ртути в биосредах мальчиков и девочек промышленного города // Вестник ОГУ. – 2010. – № 1 (107). – С. 120–121.
28. Янин Е.П. Оценка интенсивности накопления тяжелых металлов в волосах детей в зависимости от места работы родителей // Биогеохимия и биохимия микроэлементов в условиях техногенеза биосферы: Материалы VIII Международной Биогеохимической Школы, посвященной 150-летию со дня рождения академика В.И. Вернадского. – М: ГЕОХИ РАН, 2013. – С. 243–246.
29. Intercomparison study of atmospheric mercury models: 2. Modeling results vs. long-term observations and comparison of country deposition budgets / A. Ryaboshapko, O.R. Bullock, J. Christensen, M. Cohen, A. Dastoor, I. Ilyin, G. Petersen, D. Syrakov, O. Travnikov, R.S. Artz, D. Davignon, R.R. Draxler, J. Munthe, J. Pacyna // Science of the Total Environment. – 2007. – № 377. – P. 319–333.
30. Influence of long-range transboundary transport on atmospheric water vapor mercury collected at the largest city of Tibet / J. Huang, S. Kang, L. Tian, J. Guo, Q. Zhang, Z. Cong, M. Silanpää, S. Sun, L. Tripathee // Science of the Total Environment. – 2016. – V. 566–567. – P. 1215–1222.
31. Integrating Mercury Science and Policy in the Marine Context: Challenges and Opportunities / K.F. Lambert, D.C. Evers, K.A. Warner, S.L. King, N.E. Selin // Environmental Research. – 2012. – № 119. – P. 132–142.
32. Global methylmercury exposure from seafood consumption and risk of developmental neurotoxicity: a systematic review / M.C. Sheehan, T.A. Burke, A. Navas-Acien, P.N. Breyse, J. McGready, M.A. Fox // Bulletin of the World Health Organization. – 2014. – V. 92. – № 4. – P. 254–269.
33. Surveying mercury levels in hair, blood and urine of under 7-year old children from a coastal city in China / G. Chen, X. Chen, C. Yan, X. Wu, G. Zeng // International journal of environmental research and public health. – 2014. – V. 11. – № 11. – P. 12029–12041.
34. Биомониторинг прибрежных вод Черного моря / И.И. Руднева, Н.Ф. Шевченко, И.Н. Залевская, Н.В. Жерко // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32. – № 2. – С. 238–246.
35. Определение содержания стронция-90 в Черном море / В.П. Шведов, А.А. Юзефович, В.А. Ерощев-Шак, С.А. Патин, Л.М. Иванова, А.В. Степанов, А.М. Максимов // Радиоактивная загрязненность морей и океанов. – М.: Наука, 1964. – С. 76–80.
36. Jelliffe E.F. Adverse effects of foods. – New York: Springer Science & Business Media, 2012. – 614 p.
37. International Programme on Chemical Safety (IPCS). Mercury. Environmental Health Criteria. – Geneva: World Health Organization, 1976. – 118 p.
38. Valkonic V. Human hair. Fundamentals and methods for measurement of elemental composition. – Boca Raton: CRC Press, Inc., 1988. – V. 1. – 164 p.

Поступила 01.03.2017 г.

#### Информация об авторах

**Евстафьева Е.В.**, доктор медицинских наук, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой физиологии нормальной Медицинской академии им. С.И. Георгиевского и отдела экологических рисков Медицинской академии им. С.И. Георгиевского (структурное подразделение ФГАОУ ВО Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского); заместитель директора ГАУ РК УНЦ «Экопарк».

**Барановская Н.В.**, доктор биологических наук, профессор кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Тымченко С.Л.**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры физиологии нормальной Медицинской академии им. С.И. Георгиевского (структурное подразделение ФГАОУ ВО Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского).

**Богданова А.М.**, аспирант кафедры физиологии нормальной Медицинской академии им. С.И. Георгиевского (структурное подразделение ФГАОУ ВО Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского).

**Нараев Г.П.**, Министр, Министерство экологии и природных ресурсов Республики Крым.

**Сологуб Н.А.**, Заместитель Министра, Министерство экологии и природных ресурсов Республики Крым.

**Наркович Д.В.**, кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC: 612.799.1: 546.49: 631.42: 574 (470+571)

## ENVIRONMENTAL AND BIOMONITORING MERCURY RESEARCH IN THE CRIMEAN REGION

**Elena V. Evstafeva**<sup>1,2</sup>,  
e.evstafeva@mail.ru

**Natalia V. Baranovskaya**<sup>3</sup>,  
nata@tpu.ru

**Svetlana L. Tymchenko**<sup>1</sup>,  
rybqa@yahoo.com

**Anna M. Bogdanova**<sup>1</sup>,  
annuta2607@yandex.ru

**Gennady P. Naraev**<sup>4</sup>,  
m\_eko@rk.gov.ru

**Nataliya A. Sologub**<sup>4</sup>,  
m\_eko@rk.gov.ru

**Dina V. Narkovich**<sup>3</sup>,  
narkovich@tpu.ru

<sup>1</sup> Medical academy named after S.I. Georgievsky, CFU,  
5/7, Lenin Avenue, Simferopol, 295006, Russia.

<sup>2</sup> Educational and Scientific Centre «Ecopark»,  
40, Bolshaya Morskaya Street, Beregovoe, 295006, Russia.

<sup>3</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

<sup>4</sup> Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Crimea,  
198, Kechkemetskaya Street, Simferopol, 295022, Russia.

*Effective mercury monitoring in ecosystems and humans is needed as a primary step to estimate regional ecological mercury standards based on environmental depositions and due to the technogenic influence.*

**This aim** of the study is to evaluate and summarize all the present data of environmental and biomonitoring alone and in combination to provide the most relevant strategies for medico-ecological monitoring in the Crimea.

**The methods used in the study.** Mercury content in hair was determined by atomic adsorption analysis using mercury analyzer RA-915+ with PYRO-915 attachment in the laboratory of nuclear-geochemical methods of investigation at the Department of Geoecology and Geochemistry in National Research Tomsk Polytechnic University.

**The results.** The authors have determined mercury heterogeneous distribution in biosubstrates (hair) of people living in northern, eastern, western, southern and central regions of Crimean Peninsula that might be caused by environmental depositions and due to the technogenic influence with values not exceeding the maximum permissible concentrations. The lowest mercury values (min=0,033 mkg/g, max=0,072 mkg/g) were observed in hair of people living in rural areas of the central region and the highest content (min=0,178 mkg/g, max=0,312 mkg/g) was noted among people living in eastern and especially in southern (min=0,134 mkg/g, max=0,505 mkg/g) regions of the Crimean Peninsula. Although the comparison with the data of environmental field studies based on the European standards (critical loads) estimation and assessment of their exceedances, as well as previously revealed physiological effects at similar levels of Hg, indicate insufficient information provided by traditional hygienic standards alone and emphasize the areas for further research.

### **Key words:**

Mercury, critical loads, soil, hair, Crimean Peninsula.

*The research was carried out within the academic mobility program at National Research Tomsk Polytechnic University, «Development of research investigations in the experimental medicine», agreement no. 13–15/5–550, 20 August 2015. The authors appreciate the aid of Nina A. Osipova, Cand. Sc., senior researcher, associate professor, Geoecology and Geochemistry department, head of the laboratory of microelemental analysis, Natural Resource Institute, National Research Tomsk Polytechnic University.*



## REFERENCES

1. Spranger T., Lorenz U., Gregor H.D. *Manual on methodologies and criteria for modeling and mapping critical loads, levels and air pollution effects, risks and trends*. Berlin, Fed. Environ. Agency (Umweltbundesamt), UBA – Texte, 2004. 307 p.
2. Zhao J., Becker P.R., Meng X.Z. Securing a Strategy to Monitor Emerging Pollutants in the Regional and Global Environment. 2013 International Conference on Environmental Specimen Banks. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2015, vol. 22, no. 3, pp. 1555–1558.
3. IMOC – Inter organizational Programme for the Sound Management of Chemicals. *A cooperative agreement among UNEP, ILO, FAO, WHO, UNIDO, UNITAR and OECD. Global Mercury Assessment*. Geneva, UNEP Chemicals, 2002. 258 p.
4. Radchenko A.I. Raspredeleniye rtuti v landshaftno-geokhimicheskikh zonakh Kryma [Mercury distribution in landscape-geochemical areas of the Crimea]. *Mineralogicheskij zhurnal*, 1999, vol. 21, no. 1, pp. 79–84.
5. Evstafeva I.A. *Osobennosti funktsionalnogo sostoyaniya tsentralnoy nervnoy i serdechnosudistoy sistem v svyazi s sodержaniyem tyazhelykh metallov v organizme podrostkov*. Dis. Kand. nauk [Features of functional state of the central nervous and cardiovascular systems in relation to the content of heavy metals in the body of teenagers. Cand. Diss.]. Simferopol, 2003. 130 p.
6. Slyusarenko A.E. *Immunologicheskaya reaktivnost organizma v razlichnykh usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya sredi tyazhelymi metallami*. Dis. Kand. nauk [Immunological reactivity of the organism in different conditions of technogenic pollution with heavy metals. Cand. Diss.]. Simferopol, 2003. 157 p.
7. Element analysis of biological materials. *Current problems and techniques with special reference to trace elements*. Appendix II. Technical reports series, 1980, no. 197, pp. 351–367.
8. Esteban M., Schindler B.K., Jimenez, J.A., Koch H.M., Angerer J., Rosado M., Bloemen L. Mercury analysis in hair: Comparability and quality assessment within the transnational COPHES/DEMOCOPHES project. *Environmental research*, 2015, no. 141, pp. 24–30.
9. Lombardi G., Lanzirotti A., Qualls C., Socola F., Ali A.M., Appenzeller O. Five hundred years of mercury exposure and adaptation. *Journal of biomedicine and biotechnology*, 2011, no. 2012, pp. 472858–472858.
10. Karimi M., Aboufazel F., Zhad H.R.L.Z., Sadeghi O., Najafi E. Experimental design methodology applied to mercury determination: hair samples as a mercury bioindicator. *Journal of AOAC International*, 2015, vol. 98, no. 1, pp. 176–182.
11. Bashkin V.N., Evstafeyeva E.V., Snakin V.V. *Biogekhimicheskiye osnovy ekologicheskogo normirovaniya* [Biochemical bases of environmental regulation]. Moscow, Nauka Publ., 1993. 312 p.
12. Bashkin V.N. *Modern Biogeochemistry: Environmental Risk Assessment*, 2<sup>nd</sup> ed. New York, Springer Publishers, 2006. 444 p.
13. Bashkin V.N. Biogeochemical technologies for managing pollution in polar ecosystems. *Environmental Pollution*, 2016, vol. 26, pp. 7–18.
14. Evstafeva E.V., Naraev G.P., Sologub N.A., Karpenko S.A. Podkhody k otsenke riska ot deystviya tyazhelykh metallov na nazemnyye ekosistemy na territorii Respubliki Krym [Approaches to risk assessment of heavy metals effect on terrestrial ecosystems in the Republic of Crimea]. *Problemy analiza riska*, 2015, vol. 12, no. 5, pp. 6–15.
15. Evstafeva E.V. Otsenka ekologicheskogo riska dlya zdorovya na territorii Respubliki Krym [Assessing the environmental risk to health in the Republic of Crimea]. *Problemy analiza riska*, 2014, vol. 11, no. 5, pp. 30–38.
16. Kist A.A., Zhuk L.I. *Human hair composition and the problems of global ecology*. Tashkent, USSR, Institute of Nuclear Physics of the Uzbek Academy of Sciences, 1991. 60 p.
17. Oriyentirovochnye fonovy i dopustimye biologicheskiye urovni nekotorykh tyazhelykh metallov v biosubstratakh u naseleniya, ne imeyushchego s nimi professionalnogo kontakta [Indicative background and permissible biological levels of some heavy metals in biosubstrates of people without occupational exposure to them]. *Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya vyyavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya* [Criteria for assessing the ecological environment areas to identify areas of ecological emergency and ecological disaster zones]. Appendix 1, approved MNR RF 30.11.1992. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_90799/37197b6e9878843ed021523902152b55a3767c1c/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90799/37197b6e9878843ed021523902152b55a3767c1c/) (accessed 19 February 2017).
18. Bogdanova A.M., Tymchenko S.L., Evstafeva I.A., Boyarintseva Yu.A., Perekotiy E.V. Vegeto- i kardiovaskulotropnoe deystvie khimicheskikh elementov pri ikh endogennom sodержanii v organizme sportsmenov [Vegeto and cardio-vasculotropic action of chemical elements in their endogenous content in sportsman body]. *Trudy IX Mezhdunarodnoy biogekhimicheskoy shkoly. Biogekhimiya tekhnogeneza i sovremennyye problemy geokhimicheskoy ekologii* [Proc. of the IX International biogeochemical school. Biogeochemistry of technogenesis and modern problems of geochemical ecology]. Barnaul, 2015. Vol. 2, pp. 66–69.
19. Baranovskaya N.V., Rikhvanov L.P., Ignatova T.N., Narkovich D.V., Denisova O.A. *Ocherki geokhimii cheloveka* [Essays on Human Geochemistry]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. house, 2015. 378 p.
20. Zaitseva I.P., Skalny A.A., Tinkov A.A., Berezkina E.S., Grabeklis A.R., Skalny A.V. The influence of physical activity on hair toxic and essential trace element content in male and female students. *Biological trace element research*, 2015, vol. 163, no. 1–2, pp. 58–66.
21. Maksimov A.L., Lugovaya E.A. Comparative evaluation of the element status of Aboriginal girls in different areas of the North-East of Russia. *Ekologiya cheloveka*, 2010, no. 7, pp. 30–35. In Rus.
22. Zhurba O.M., Rukavishnikov V.S., Merinov A.V., Alekseenko A.N. Metal content in hair of children in the Yamalo-Nenets Autonomous Area. *Mezhdunarodny zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy*, 2015, vol. 4, no. 1, pp. 175–177. In Rus.
23. Notova S.V. Elementny sostav volos patsientov pri razlichnykh zabollevaniyakh [Elemental composition of hair of patients with different diseases]. *Vestnik OGU*, 2005, vol. 2, no. 40, pp. 55–58.
24. Tupikov V.A., Naumova N.L., Rebezov M.B. Elementny sostav volos kak otrazhenie ekologicheskoy situatsii [Elemental composition of hair as reflection of environmental situation]. *Chelovek. Sport. Meditsina*, 2012, vol. 21, no. 280, pp. 119–122.
25. Zaynullin V.G., Bodnar I.S., Kondratonok B.M. Features of accumulation of chemical elements in hair of child population of the Republic of Komi. *Izvestiya Komi NTS UrO RAN*, 2014, vol. 2, no. 18, pp. 24–31. In Rus.
26. Dikopolskaya N.B., Salakhieva E., Svyatova N.V., Sitdikov F.G. Analysis of content of chemical elements in hair of 16–17 years old girls, living and studying in the area of Kazan city with developed transport network. *Vestnik TGGPU*, 2008, no. 15, pp. 67–72. In Rus.
27. Mikhaylov A.N. Mercury bioaccumulation in biological media of boys and girls in industrial city. *Vestnik OGU*, 2010, vol. 1, no. 107, pp. 120–121. In Rus.
28. Yanin E.P. Otsenka intensivnosti nakopleniya tyazhelykh metallov v volosakh detey v zavisimosti ot mesta raboty roditel'ey [Evaluation of heavy metals accumulation intensity in hair of children, depending on the parents' place of work]. *Biogekhimiya i biokhimiya mikroelementov v usloviyakh tekhnogeneza biosfery. Materialy VIII mezhdunarodnoy Biogekhimicheskoy Shkoly* [Biogeochemistry and biochemistry of trace elements in biosphe-

- re technogenesis. Materials of the VIII International Biogeochemical School], Moscow, GEOKHI RAN Publ., 2013. pp. 243–246.
29. Ryaboshapko A., Bullock O.R., Christensen J., Cohen M., Dastor A., Ilyin I., Petersen G., Syrakov D., Travnikov O., Artz R.S., Davignon D., Draxler R.R., Munthe J., Pacyna J. Intercomparison study of atmospheric mercury models: 2. Modelling results vs. long-term observations and comparison of country deposition budgets. *Science of the Total Environment*, 2007, no. 377, pp. 319–333.
  30. Huang J., Kang S., Tian L., Guo J., Zhang Q., Cong Z., Silanpää M., Sun S., Tripathee L. Influence of long-range transboundary transport on atmospheric water vapor mercury collected at the largest city of Tibet. *Science of the Total Environment*, 2016, no. 566–567, pp. 1215–1222.
  31. Lambert K.F., Evers D.C., Warner K.A., King S.L., Selin N.E. Integrating Mercury Science and Policy in the Marine Context: Challenges and Opportunities. *Environmental Research*, 2012, no. 119, pp. 132–142.
  32. Sheehan M.C., Burke T.A., Navas-Acien A., Breyse P.N., McGready J., Fox M.A. Global methylmercury exposure from seafood consumption and risk of developmental neurotoxicity: a systematic review. *Bulletin of the World Health Organization*, 2014, vol. 92, no. 4, pp. 254–269.
  33. Chen G., Chen X., Yan C., Wu X., Zeng G. Surveying mercury levels in hair, blood and urine of under 7-year old children from a coastal city in China. *International journal of environmental research and public health*, 2014, vol. 11, no. 11, pp. 12029–12041.
  34. Rudneva I.I., Shevchenko N.F., Zalevskaya I.N., Zherko N.V. Biomonitoring pribrezhnykh vod Chernogo moray [Biomonitoring of coastal waters of the Black Sea]. *Vodnyye resursy*, 2005, vol. 32, no. 2, pp. 238–246.
  35. Shvedov V.P., Yuzefovich A.A., Eroshchev-Shak V.A., Patin S.A., Ivanova L.M., Stepanov A.B., Maksimov A.M. Opredelenie sodержaniya strontsiya-90 v Chernom more [Determination of strontium-90 in the Black Sea]. *Radioaktivnaya zagryaznennost morey i okeanov* [Radioactive contamination of seas and oceans], Moscow, Nauka Publ., 1964. pp. 76–80.
  36. Jellife E.F. *Adverse effects of foods*. New York, Springer Science & Business Media, 2012. 614 p.
  37. International Programme on Chemical Safety (IPCS). *Mercury. Environmental Health Criteria*. Geneva, World Health Organization, 1976. 118 p.
  38. Valkonic V. *Human hair. Fundamentals and methods for measurement of elemental composition*. Boca Raton, CRC Press. Inc., 1988. Vol. 1, 164 p.

Received: 1 March 2017.

#### Information about the authors

**Elena V. Evstafeva**, Dr. Sc., professor, head of the department, Medical academy named after S.I. Georgievsky, CFU; deputy director, Educational and Scientific Centre «Ecopark».

**Natalia V. Baranovskaya**, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Svetlana L. Tymchenko**, Cand. Sc., associate professor, Medical academy named after S.I. Georgievsky, CFU.

**Anna M. Bogdanova**, postgraduate student, Medical academy named after S.I. Georgievsky, CFU.

**Gennady P. Naraev**, Minister, Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Crimea.

**Nataliya A. Sologub**, Deputy Minister, Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Crimea.

**Dina V. Narkovich**, Cand. Sc., senior lecturer, National Research Tomsk Polytechnic University.