

Евстафьева Е.В., Залата О.А., Московчук О.Б., Тымченко С.Л. (ФГАУ ВО «Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского»), Сологуб Н.А. (Министерство экологии и природных ресурсов Республики Крым)

### ГЕОХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА: ОБЩИЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И КРЫМСКОМ РЕГИОНЕ

*Представлен обзор результатов апробации подходов к оценке взаимодействия в системе «среда-здоровье человека» на региональном, субрегиональном, локальном уровнях мониторинговых исследований. Показано решение разного рода задач: от выявления неблагоприятных для здоровья с экологической точки зрения территорий до локальных когортных исследований, позволяющих интегрировать медицинские и экологические данные с целью количественной оценки влияния приоритетных для территории геохимических факторов на функциональное состояние организма. **Ключевые слова:** биогеохимия, тяжелые металлы, почва, человек, мониторинг, адаптация.*

Evstafeva E.V., Zalata O.A., Moskovchuk O.B., Tymchenko S.L. (Crimean Federal University of Vernadsky), Sologub N.A. (Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Crimea)

### ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY AND HUMAN HEALTH: GENERAL AND REGIONAL ASPECTS IN THE RUSSIAN FEDERATION AND CRIMEAN REGION

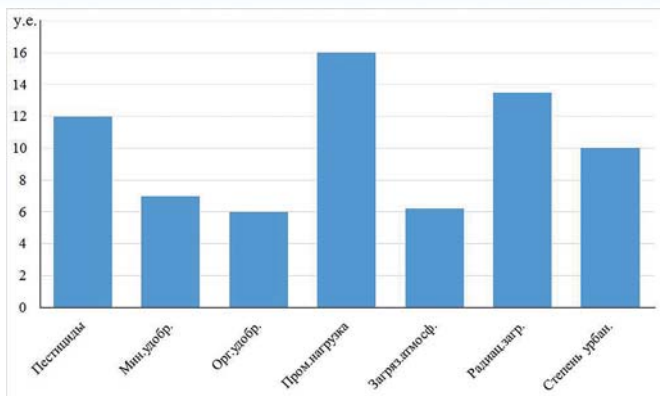
*The results of current approaches implemented to assess the interaction «environment-human health» at regional, sub-regional and local levels of monitoring are summarized. Multiple objectives were considered: detection of the ecologically unfriendly territories for human health and local cohort studies provide integration of medical and ecological data for the qualitative assessment of the priority geochemical factors influence on functional state of humans at these territories. **Keywords:** biogeochemistry, heavy metals, soil, human, monitoring, adaptation.*

Настоящая статья представляет собой обзор основных результатов многолетних исследований, направленных на разработку и реализацию подходов к оценке взаимодействия в системе «среда-здоровье» и являющихся базой для экологического нормирования, оценки экологической ситуации в регионах и ее воздействия на здоровье населения. Теоретическое обоснование этих подходов было освещено в ряде публикаций более 20 лет назад [1, 3]. Основная составляющая разработанной методологии базируется на понимании фундаментального характера экологической связи организма человека с окружающей средой через биогеохимические трофические цепи, которые трансформируются в условиях химического загрязне-

ния среды обитания, что, в свою очередь, приводит к изменению состояния внутренней среды организма человека как конечного консумента большинства пищевых цепей. Следовательно, содержание химических элементов и соединений в биологических субстратах организма и здоровье человека можно рассматривать как интегральный показатель качества среды. Это позволяет решать два рода задач: оценивать как состояние окружающей среды по данным биомониторингового исследования человека, так и экологическую обусловленность здоровья, в отношении которого отмечаются выраженные негативные тенденции. Таким образом, представляется более целесообразным не изучение влияния отдельных экологических факторов и условий на здоровье человека, а последовательное движение от выявления территорий с наиболее неблагоприятной экологической ситуацией и состоянием здоровья населения к установлению приоритетных геохимических факторов и количественной оценке их влияния на организм человека. На последнем и должно базироваться экологическое нормирование и разработка региональных экологических нормативов.

Проявления антропогенной (химической) трансформации имеют разные масштабы: глобальный, региональный, субрегиональный, локальный. Ее степень опосредуется природными биогеохимическими особенностями территорий, а поступление химических элементов и веществ в организм человека и конечный эффект влияния на его здоровье — гомеостатическими механизмами регуляции как почв, так и собственно организма человека. Таким образом, оценка допустимого антропогенного влияния имеет выраженную региональную составляющую и должна выполняться на основании мониторинговых исследований разного уровня, учитывающих в том числе адаптационные свойства экосистем и организма человека. Это особенно актуально для такой обширной и разнообразной территории как территория Российской Федерации.

Ранее в крупномасштабных мониторинговых исследованиях жителей разных регионов Российской Федерации и Украины посредством эпидемиологических и клинических исследований населения была выполнена сравнительная оценка состояния здоровья и «чувствительности» физиологических показателей к различным антропогенным факторам, в том числе к разным видам химической нагрузки: атмосферному загрязнению, нагрузке агрохимикатами на почву и т.п. (рис. 1). При этом дифференцированный по природным биогеохимическим регионам (черноземный степной, нечерноземный таежно-лесной, горный) и антропогенной нагрузке (преимущественному типу хозяйствования: сельскохозяйственный, промышленное производство) анализ заболеваемости и функциональных показателей состояния организма показал, что в разных регионах характеристики здоровья различались в зависимости от природной или антропогенной специфики региона. Так, например, в сельскохозяйст-



**Рис. 1.** Степень значимости антропогенных факторов для физиологических параметров организма, установленная в условных единицах на основании данных дисперсионного анализа методом Дункана

венных регионах Украины в сравнении с промышленными были в большей степени выражены заболевания пищеварительной системы, чем дыхательной [7], а некоторые из физиологических параметров проявляли большую «чувствительность» к тем или иным антропогенным факторам в одном из биогеохимических регионов [3].

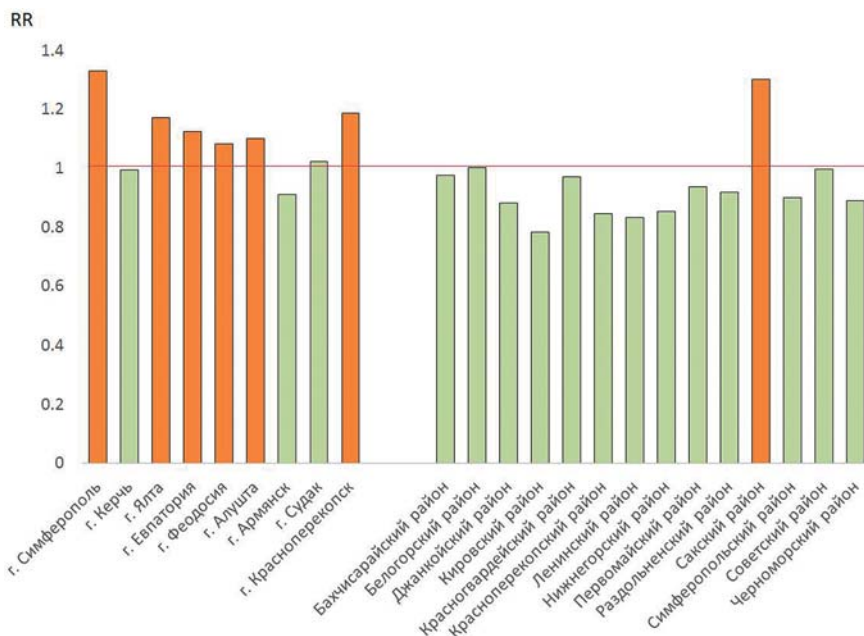
Таким образом, было дано не только теоретическое, но и практическое обоснование необходимости дифференцированного подхода к оценке воздействия антропогенных факторов с учетом биогеохимической организованности территорий: как природной, так и техногенной (искусственных) провинций, сформировавшихся в результате хозяйственной деятельности человека. Поскольку такие масштабные исследования позволяют делать только грубые качественные оценки, для более детального анализа и количественных оценок воздействия на здоровье тех или иных геохимических факторов была предложена схема мониторинговых исследований разного уровня (масштаба), которые в течение последующих 20 лет были реализованы на территории Крымского п-ова. При этом более важной в связи с выше изложенным была ориентация не столько на консервативные (инертные) показатели здоровья населения по данным медицинской статистики, сколько на физиологические, характеризующие функциональное состояние тех или иных систем, обусловленное геохимическими условиями среды.

Однако на первых этапах регионального мониторинга именно заболеваемость населения на различных территориях Крымского п-ова является главной качественной характеристикой, позволяющей сориентироваться в отношении благополучия/неблагополучия здоровья. Были проанализиро-

ваны временные и пространственные тренды заболеваемости населения Республики Крым за 30–40-летний период, что позволило выявить территории, где имели место наиболее выраженные негативные тенденции в изменении состояния здоровья [4]. В наибольшей степени негативная ситуация была представлена на городских территориях, где в меньшей степени могло быть выражено влияние геохимических условий среды, но в наибольшей степени представлена концентрация экологических проблем (рис. 2).

В последующем производился кластерный и факторный анализы заболеваемости с целью типизации территорий по профилю доминирующих видов заболеваемости (рис. 3).

Параллельно проводился экологический региональный мониторинг, который в Республике Крым с 2008 г. осуществлялся помимо традиционных отечественных подходов в соответствии с методическими рекомендациями Конвенции о трансграничных переносах атмосферных загрязнителей на дальние расстояния (Long Range Transboundary Air Pollution — LR-TAP). Для оценки экологической ситуации в этом случае используются экосистемные нормативы — критические нагрузки, которые отражают природную устойчивость экосистем (буферные свойства почвы, вынос загрязнителя из почвы с биомассой произрастающих на ней растений, с вымыванием поллютанта осадками и просачиванием в грунтовые воды и т.п.). Сравнение фактической нагрузки загрязнителями (например, тяжелыми металлами), поступающими в почву с атмосферными осадками, с расчетной для данного типа экосистем критической нагрузкой, позволяет рассчитать превышения (exceedances) более объективно, чем при использовании традиционных гигиенических нормативов, оценить экологическую ситуацию, устойчивые тенденции в ее изменениях и



**Рис. 2.** Относительный риск (RR) общей заболеваемости в городах (слева) и сельских населенных пунктах Республики Крым за период 1994–2015 гг.

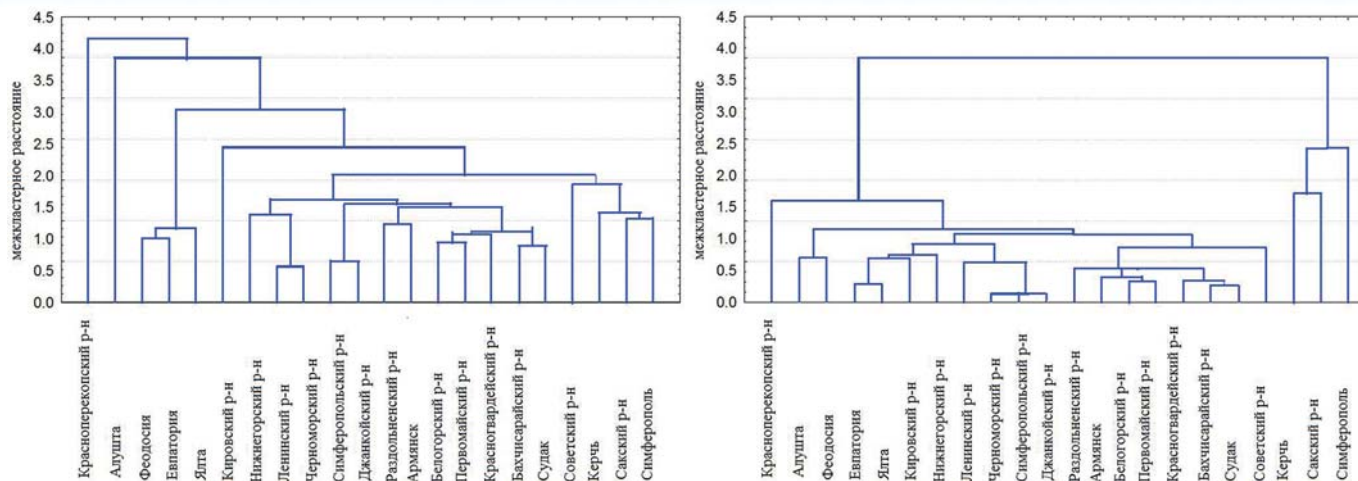


Рис. 3. Кластерный анализ относительной заболеваемости бронхиальной астмой (слева) и аллергическим ринитом (справа) в Республике Крым за период 1994–2015 гг.

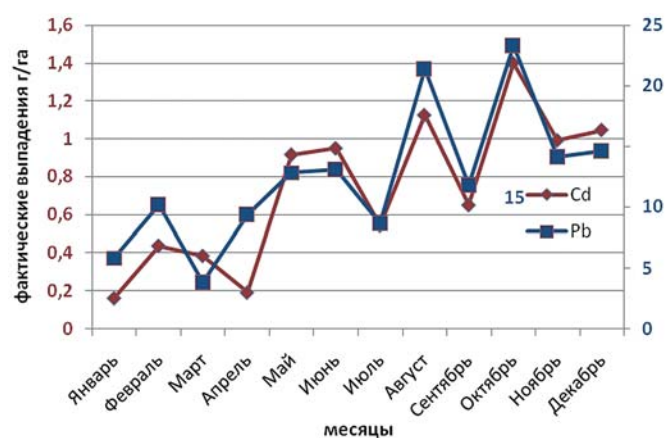


Рис. 4. Динамика фактических выпадений с осадками тяжелых металлов на территории заповедника «Лебяжий остров» в 2014 г.

их прогноз. Так, например, фактические нагрузки на почву тяжелыми металлами имеют выраженную сезонную динамику (рис. 4) и их колебания в разные годы могут быть существенными в зависимости от сопутствующих климатических и техногенных условий (рис. 5). При этом выявлены территории, где такие превышения были значительными [6, 9].

Таким образом, в результате регионального медико-экологического мониторинга могут быть выявлены территории, неблагоприятные как с точки зрения состояния здоровья населения, так и состояния среды обитания, ее экологической характеристики.

В дальнейшем на некоторых из таких территорий осуществлялись субрегиональные и локальные мониторинговые исследования, конечной задачей которых являлась интеграция меди-

цинских и экологических данных с целью оценки степени влияния конкретных геохимических факторов на функциональное состояние систем организма с целью последующей оценки популяционного и индивидуального риска и основанном на ней определении допустимых уровней воздействия. Последовательные этапы таких мониторинговых исследований предприняты в отношении тяжелых металлов. При этом субрегиональные исследования предусматривают как выявление локусов с более неблагоприятной картиной заболеваемости по определенным, прежде всего, экологически зависимым заболеваниям, так и последующее определение на таких территориях содержания тяжелых металлов в разных звеньях биогеохимических трофических цепей (почва-растение-организм человека). Так, например, было определено содержание тяжелых металлов в почве, растениях и

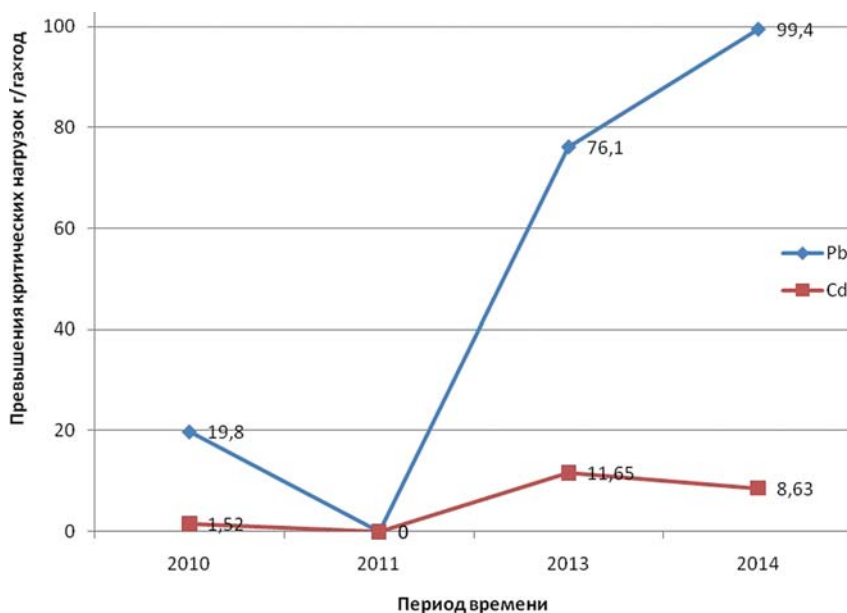


Рис. 5. Динамика превышений критических нагрузок тяжелых металлов на территории заповедника «Лебяжий остров» с 2010 по 2014 гг.: 1 — Pb; 2 — Cd

**Содержание тяжелых металлов в различных компонентах экосистем и биологических субстратах жителей с. Филатовка**

Металл \ Субстрат	Почва (мкг/г)	Продукция растениеводства (мкг/г)	Волосы (мкг/г)
Hg	0,04–0,17	—	0,05–0,62
Cd	2,15–4,30	0,01– <b>0,05*</b>	0,61– <b>9,66*</b>
Pb	20,00– <b>50,00*</b>	0,20– <b>0,88*</b>	1,67– <b>25,82*</b>
Cu	0,10–0,50	1,22–3,00	4,87–11,30
Zn	17,20–42,50	1,80–8,71	100,84–245,80

биологических субстратах человека на сельских территориях, находящихся близи крупных промышленных предприятий Крыма и имеющих установленные геохимические аномалии (табл. 1); установлена их значимость для функционального состояния иммунной системы [8].

Локальный мониторинг заключается в биомониторинговом исследовании содержания тяжелых металлов в биологических субстратах населения, которое проживает на территориях, представляющих интерес по результатам субрегионального мониторинга, и оценки значимости их уровня в организме для функционального состояния систем-мишеней, то есть наиболее чувствительных к их действию. К числу таких категорий населения отнесены беременные женщины и их новорожденные дети, дети разного возраста, больные хроническими заболеваниями, спортсмены. Исследование содержания тяжелых металлов в венозной и пуповинной крови, плаценте, грудном молоке, волосах (рис. 6) позволило выявить особенности элементного статуса в зависимости от типа обследуемого контингента и вместе с этим — региональные особенности, характерные для Крымского региона в целом. Так, можно констатировать, что в целом для жителей Крыма характерен дефицит таких эссенциальных элементов как цинк, железо, медь, в то время как превышение нормы токсичными элементами имеет место в незначительном числе случаев [15]. Однако и при выявленных относительно низких концентрациях токсичных металлов установлены определенные эффекты их влияния на центральную нервную, вегетативную, сердечно-сосудистую и иммунную системы. Установлена значимость отдельных элементов для разных категорий населения, а также изменения содержания и значимости одного и того же элемента на разных этапах онтогенеза [2, 11], которая могла существенно отличаться. При этом важ-

ны не только геохимические условия среды, из которой элементы попадают в организм, но и интенсивность их выведения. Так, для сердечно-сосудистой системы спортсменов, у которых имеет место интенсификация обменных процессов и выведение химических элементов, установлена высокая значимость эссенциальных железа и цинка, при этом чувствительность к свинцу была выше у не занимающихся спортом подростков [5].

В то же время при оценке влияния выявленных в организме концентраций тяжелых металлов более информативно использовать интегральные показатели, позволяющие обобщить результаты и оценить значимость как отдельных элементов, так и в целом элементного дисбаланса для функционального состояния систем организма. С этой целью разработаны и предложены коэффициент элементного дисбаланса, индекс тропности (то есть значимости) элемента для той или иной системы организма, коэффициент детерминации функционального состояния системы элементным дисбалансом по данным множественной регрессии. Так, например, коэффициент элементного дисбаланса у детей г. Симферополь составил  $-0,7$  усл. ед., у детей Юго-Востока Украины  $+1,7$  усл. ед., что означает преобладание дефицита эссенциальных элементов у первых и преобладание токсичных у вторых. Получены данные по сравнительной тропности как разных элементов для одной из систем (рис. 7), так и тропности одного элемента для разных систем организма. Наконец, предложенный подход к определению степени обусловленности функционального состояния системы элементным дисбалансом на примере центральной нервной системы показал свою информативность при сравнении результатов, полученных по данным биомониторингового и функционального обследования детей разных регионов — Крымского региона и юго-восточного региона Украины, где коэффициент детерминации у первых составил  $0,15$ , а у вторых был в 3 раза выше и составил  $0,45$  усл. ед.

Таким образом, разработанный и апробированный системный подход к оценке взаимодействия в системе «среда-здоровье», ориентированный на оценку пове-

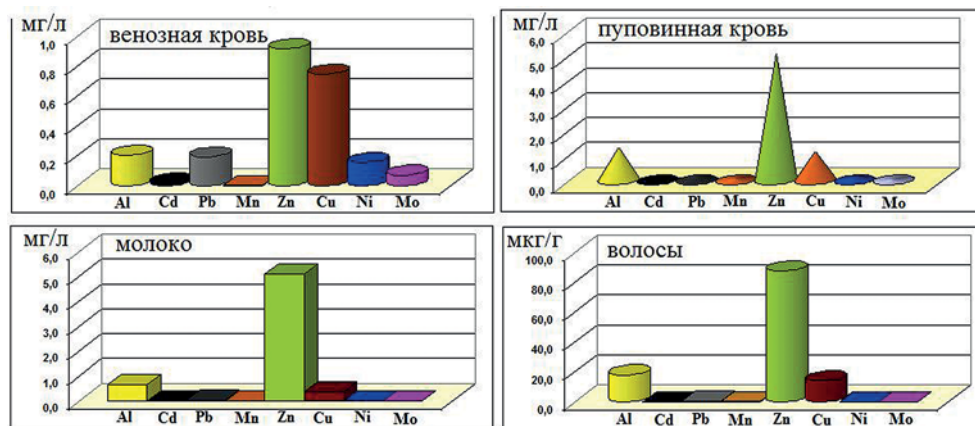


Рис. 6. Содержание металлов в биологических субстратах родильниц

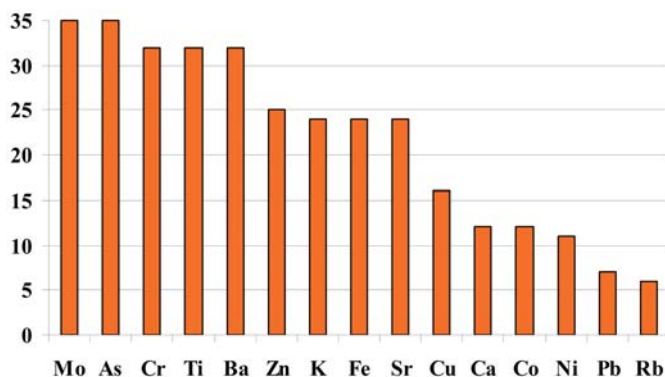


Рис. 7. Значимость (нейротропность) химических элементов для функционального состояния нервной системы жителей г. Симферополь 15–19 лет (n=75)

дения ее ключевых звеньев (природная устойчивость экосистем, адаптивные свойства организма человека) в целом продемонстрировал свою состоятельность и перспективность для внедрения в практику экологического нормирования. Дальнейшее поэтапное мониторинговое исследование, решающее разного уровня задачи, вплоть до разработки региональных экологических нормативов на основании натурных исследований, учитывающих как природные особенности регионов, так и их техногенную специфику, позволят перейти к реализации концепции устойчивого развития и научному обоснованию управленческих решений при планировании хозяйственного развития территорий.

Настоящая работа выполнена при поддержке программы развития Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» на 2015–2024 гг. в рамках реализации академической мобильности по проекту ФГАУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» «Сеть академической мобильности «Развитие научных исследований в области экспериментальной медицины — РНИЭМ» в ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Башкин, В.Н. Биогеохимические основы экологического нормирования / В.Н. Башкин, Е.В. Евстафьева, В.В. Снакин и др. — М.: Наука, 1993. — 304 с.
2. Залата, О.А. Взаимосвязь характеристик когнитивных функций городских подростков с содержанием макро- микроэлементов в организме (результаты лонгитюдного наблюдения). Перинатология и педиатрия / О.А. Залата. — 2014. — № 1(57). — С. 113–116.
3. Евстафьева, Е.В. Физиологическое и биогеохимическое обоснование проблемы адаптации человека в различных условиях среды обитания / Е.В. Евстафьева. Дис... д.б.н. — М.: Ун-т дружбы народов. — 1996. — 303 с.
4. Евстафьева, Е.В. Оценка экологического риска для здоровья на территории Республики Крым / Е.В. Евстафьева // Проблемы анализа риска. — 2014. — Т. 11. — № 5. — С. 30–38.
5. Евстафьева, Е.В. Особенности элементного и гемодинамического статуса подростков и юношей с разным уровнем двигательной активности / Е.В. Евстафьева, Ю.А. Бояринцева, И.А. Евстафьева Е.В. Перекотий // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. — 2017. — № 103 (5). — С. 570–581.

6. Евстафьева, Е.В. 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.
7. Осовский, Ю.В. Сравнительный анализ заболеваемости в Крыму и на промышленных и сельскохозяйственных территориях Украины / Ю.В. Осовский, Е.В. Евстафьева, О.Б. Мальцева, А.П. Волченко // Таврический медико-биологический вестник. — 2001. — № 4. — Т. 4. — С. 96–100.
8. Слюсаренко, А.Е. Иммуный статус организма в связи с содержанием в почвах Zn и Cd / А.Е. Слюсаренко // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. — 2001. — № 2. — Т. 14. — С. 158–164.
9. Evstafyeva, E. Calculation and mapping of critical loads of heavy metals for agricultural areas in the Crimea Forest Snow and Landscape Research, part II / E. Evstafyeva, N. Ovsyannikova, I. Gluchenko, S. Karpenko. — 2006. -V. 80, Issue 3. — P. 387–390.
10. Evstafyeva, E.V. Heavy Metals Exposure on Urbanized and Industrial polluted territories and Effects on Functional State of Systems of different cohorts of population in Crimean region of Ukraine / E.V. Evstafyeva, O.A. Zalata, O.B. Moskovchuk et al. // 16-th International Conference on Heavy Metals in the Environment, ICHMET September 23–27, 2012. — Roma, Italy, 2012.
11. Tymchenko, S. Low-Level Lead Exposure and Heart Rate Variability in Childhood: a Longitudinal Study / S. Tymchenko, E. Evstafyeva // Proceedings of the 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment, Rome, 23–27 September, 2012. — Rome, 2013. — V.1.

© Коллектив авторов, 2018

Евстафьева Елена Владимировна // e.evstafeva@mail.ru  
 Залата Ольга Александровна // olga\_zalata@mail.ru  
 Московчук Ольга Борисовна // olgamoskovchuk@gmail.com  
 Тымченко Светлана Леонидовна // rybqa@yahoo.com  
 Сологуб Наталия Александровна // m\_eko@rk.gov.ru

УДК 504.43 + 504.75

Абдулмуталимова Т.О.<sup>1,2</sup>, Ревич Б.А.<sup>3</sup>, Газалиев И.М.<sup>2</sup>  
 (1 — ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Минздрава России, 2 — ФГБУН «Институт геологии Дагестанского научного центра» РАН, 3 — ФГБУН «Институт народнохозяйственного прогнозирования» РАН)

#### МЫШЬЯК В ПИТЬЕВЫХ АРТЕЗИАНСКИХ ВОДАХ СЕВЕРНОГО ДАГЕСТАНА И РИСКИ ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ

В статье обсуждаются геохимические особенности артезианских вод северной части территории Республики Дагестан, используемых для питьевого водоснабжения населения, численностью более 500 тыс. человек. Содержание мышьяка в питьевых водах превышает допустимый уровень до 50 раз. Выявленные уровни индивидуальных канцерогенных рисков превышают «допустимый» (целевой) уровень (10–5) и оцениваются как неприемлемые для сохранения здоровья населения. Для оценки экспозиции населения и установления связи между воздействием мышьяка и его кумуляцией в организме человека был проведен биомониторинг в населенных пунктах с достоверно высоким содержанием мышьяка в питьевой воде. **Ключевые слова:** артезианские воды, питьевое водоснабжение, мышьяк, канцерогенный риск, биомониторинг.