

16. Феоктистова Т.Г., Феоктистова О.Г., Наумова Т.В. *Безопасность жизнедеятельности. Производственная санитария и гигиена труда*. Часть II. М.; 2007.

References

- Vavilov S.I. *The Eye and the Sun [Glaz i Solntse]*. Moscow: Nauka; 1976. (in Russian)
- Holm S. Does chaos theory have major implications for philosophy of medicine? *Med. Humanit.* 2002; 28(2): 78–81.
- Es'kov V.M., Es'kov V.V., Dzhumagalieva L.B., Gudkova S.V. Medicine and chaos theory in the description of the individual and accidental. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy.* 2014; 21(3): 27–34. (in Russian)
- Scientific output (1975–2013): chaos theory vs. evidence based medicine. Available at: https://figshare.com/articles/Scientific_output_1975_2013_chaos_theory_vs_evidence_based_medicine/1216702
- RIA Novosti. Mathematicians have learned to cheat chaos and consequences of the «butterfly effect». Available at: <http://ria.ru/science/20150728/1151525068.html#ixzz3z5w4x3XJ> (in Russian)
- Zueva M.V. Nonlinear fractals: application in ophthalmology and physiology. *Oftal'mologiya.* 2014; 11(1): 4–11. (in Russian)
- Deynego V.N., Kaptsov V.A., Soroka A.I. The effect of light and physical fields on the risk of disharmonization melatonin synthesis in the pineal gland. *Analiz riska zdorov'yu.* 2014; (2): 30–41. (in Russian)
- Kaptsov V.A., Deynego V.N. Excessive dose of blue light in the spectrum of LED lighting can impair vision. *Energosvet.* Available at: <http://www.energsovet.ru/stat875.html> (in Russian)
- Ostrovskiy M.A. Photobiological paradox of vision. In: Rubin A.B., ed. *The Problems of Regulation in Biological Systems. Biophysical Aspects [Problemy regulatsii v biologicheskikh sistemakh. Biofizicheskie aspekty]*. Moscow: Institut komp'yuternykh issledovaniy; Izhevsk: RKHD; 2007: 133–64. (in Russian)
- Zak P.P., Ostrovskiy M.A. The potential danger of lighting the LEDs for the eyes of children and adolescents. *Svetotekhnika.* 2012; (3): 4–6. (in Russian)

- Zak P.P., Serezhnikova N.B., Pogodina L.S., Trofimova N.N., Gur'eva T.S., Dadasheva O.A. Photoinduced changes of subcellular structures in retinal pigment epithelium of the quail *Coturnix japonica*. *Biokhimiya.* 2015; 80(6): 931–6. (in Russian)
- Sigaeva A.O., Serezhnikova N.B., Pogodina L.S., Trofimova N.N., Dadasheva O.A., Gur'eva T.S. et al. Changes in the choroid of different age groups of Japanese quails *Coturnix Japonica* depending on the spectral composition of the illumination. *Sensornye sistemy.* 2015; 29(4): 354–61. (in Russian)
- Novikov N.Yu. Cancellation of the daylight saving and winter time in the Russian Federation. Available at: <http://federalbook.ru/news/analitics/25.08.2011.html> (in Russian)
- Tomany S.C., Cruickshanks K.J., Klein R., Klein B.E., Knudtson M.D. Sunlight and the 10-year incidence of age-related maculopathy: the Beaver Dam Eye Study. *Arch. Ophthalmol.* 2004; 122(5): 750–7.
- Deynego V.N., Kaptsov V.A. Light energy-saving and led lamp lighting and human health. *Gigiena i sanitariya.* 2013; 92(6): 81–4. (in Russian)
- Feoktistova T.G., Feoktistova O.G., Naumova T.V. *Health and Safety. Industrial sanitation and occupational health [Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. Proizvodstvennaya sanitariya i gigiena truda]*. Part II. Moscow; 2007. (in Russian)
- Wallman J., Winawer J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia. *Neuron.* 2004; 43(4): 447–68.
- Iseli H.P., Körber N., Koch C., Karl A., Penk A., Huster D. The Effects of Scleral Blue Light Cross-linking on Eye Growth. 2010.
- Foulds W.S., Barathi V.A., Luu C.D. Progressive myopia or hyperopia can be induced in chicks and reversed by manipulation of the chromaticity of ambient light. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2013; 54(13): 8004–12.
- Albarracin R., Natoli R., Rutar M., Valter K., Provis J. 670 nm light mitigates oxygen-induced degeneration in C57BL/6J mouse retina. *BMC Neurosci.* 2013; 14: 125.
- Sunlight spectrum reproducible white LED (TRI-R). Available at: http://www.toshiba-tmat.co.jp/eng/case_tri_r/index.htm
- Chu Y.C., Lee G.J. Improved Design of UV- and Blue-Light-Inhibited White Light-Emitting Diode. *IEEE Photonics J.* 2015; 4(7): 1600806.

Поступила 11.02.16

Принята к печати 13.05.16

© БОГДАНОВ Н.А., 2017

УДК 614.77:546.49]-074

Богданов Н.А.

ПОДХОД К НОРМИРОВАНИЮ РТУТИ ПО СОДЕРЖАНИЮ ЕЕ ТЕРМОФОРМ В ПОЧВАХ И ДОННЫХ НАНОСАХ

ФГБУН «Институт географии РАН», 119017, Москва

Статья содержит результаты диагностики эколого-гигиенического состояния в разной мере освоенных урбанизацией и разновеликих по площади земель, находящихся в различных агроклиматических условиях Европейской России (юг Астраханского региона, Москва). Оценки состояния территорий используют новый подход к нормированию ртути Hg – по количественным соотношениям содержания ее термоформ в почвах, грунтах и аллювии (в литосубстрате). Метод диагностики основан на известных свойствах форм Hg: геохимическая активность (миграционная подвижность) и токсичность их снижаются с увеличением температурного порога выхода Hg в процессе непрерывного прогрева образца литосубстрата (до 1100 °С). Термоформы не привязаны к конкретным минералам или химическим веществам и условно обозначены как: СВ (Свободная: <180 °С), ХЛ (Хлоридная: 180–250 °С), ФС и ХС (Физически и Химически Сорбированные: 250–400 °С), СУ (Сульфидная: 400–500 °С), ИЗ (Изоморфная: >500 °С) формы Hg. Среди форм по комплексам низко-, средне- и высокотемпературных их разновидностей также условно выделены группы «мобильных», «устойчивых» и «инертных» форм (СВ + ХЛ; ФС + ХС и СУ + ИЗ соответственно). Для техногенной Hg характерно наличие и преобладание в пробе группы «мобильных», в меньшей степени – «устойчивых» термоформ. Экологическая опасность тем выше, чем интенсивнее это преобладание. Природное накопление диагностируется наличием и преобладанием суммы средне- и высокотемпературных инертных форм Hg. По соотношениям содержания Hg, ее форм и их групп, а также по тесноте корреляционных связей между ними разработаны 6 показателей состояния почв и аллювия. Основные из числа показателей по информативности результатов диагностики – коэффициенты: Эндогенного привноса, Геохимической активности и Мобильности Hg. С учетом сочетаний изменчивости значений показателей, общего количества Hg, генезиса и интенсивности ее накопления (природного или техногенного), разработаны также и шкалы градаций эколого-гигиенического состояния территорий суши и участков поверхностных водных объектов. В итоге, информативность оценок ртутного загрязнения земель на основе такого подхода к нормированию Hg существенно возросла. На объектах оценок выделены: очаги проявления на поверхности ландшафта глубинных эманацій Hg – ореолы рассеяния в зонах трещиноватости земной коры (купол Астраханского газоконденсатного месторождения); экологически опасные, местами даже и при низком валовом содержании Hg, участки территорий городов, поселков, их кварталов, а также русел водотоков и дна водоемов (долина и дельта Волги, квартал Лефортово в Москве). Диагностирован и порог фонового распределения валового содержания Hg = 0,2–0,3 мг/кг. Его величина согласуется с отечественными и зарубежными безопасными уровнями накопления в почвогрунте Hg = 0,3–0,4 мг/кг. Подход обеспечивает дифференциацию экологической опасности земель. Технология подхода может использоваться

в разработках нормативного документа по диагностике эколого-гигиенического состояния территорий, в системе классификации опасности отходов, при деонтоминации территорий, акваторий и в зонировании земель по критериям природного или техногенного накопления Hg.

Ключевые слова: ртуть; содержание; термоформы; нормирование; почвы; аллювий; диагностика; эколого-гигиеническое состояние; Астраханский регион; Москва.

Для цитирования: Богданов Н.А. Подход к нормированию ртути по содержанию ее термоформ в почвах и донных наносах. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(2): 106-113. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-2-106-113>

Bogdanov N.A.

THE APPROACH TO THE REGULATION OF MERCURY ACCORDING TO THE CONTENT OF ITS TERMOFORMS IN SOILS AND BED LOADS

Institution of Geography, Moscow, 119017, Russian Federation

The article contains the results of the ecological and hygienic diagnostics of conditions of lands of areas of different sizes and varying degrees of urbanization, located in different agro-climatic conditions of European Russia (the southern Astrakhan region, the city of Moscow). Assessments of the state of territories use a new approach to rationing of Hg according to quantitative ratios of the content of its thermoforms in soils, grounds and alluvium (in litho substrate). The method of diagnostics is based on known properties of Hg forms: their geochemical activity (migration mobility) and toxicity decline along with the increment of the Hg temperature threshold of the release in the process of continuous warming up of the litho substrate sample (up to 1100°C). Thermoforms are not tied to specific minerals or chemicals and are conditionally designated as FR (Free: <180°C), CL (Chloride: 180-250°C), FS and CS (physically and chemically sorbed: 250-400°C), SU (Sulfide: 400-500°C) IS (isomorphic: >500°C) Hg forms. Among forms, also conditionally according to complexes of low, medium and high temperature variations (FR + CL, FS + CS and SU + IS, respectively, there are selected groups of «mobile», «sustainable» and «inert» forms. For technogenic Hg there is characterized the predominance in the sample of «mobile» and to lesser extent degree - «stable» thermoforms. The more intensive this predominance is, the higher is environmental hazard. The natural accumulation is diagnosed by the presence and prevalence of the sum of moderate - and high-temperature inert forms of Hg. According to the ratios of Hg content, its forms and groups, as well as the density of correlations between them, 6 indices of the conditions of soils and alluvium were developed by ourselves. Main coefficients out of indices on informativeness of results of diagnostics are the following factors: Endogenous input, Geochemical activity and Hg mobility. With regard to the combination of variability in indices, the total amount of Hg, the genesis and intensity of its accumulation (natural or anthropogenic), there were also developed ranking scales of the ecological and hygienic condition of the land areas and surface water bodies. As a result, on the base of such approach to the regulation of Hg the information value of assessments of mercury contamination of land significantly increased. At the objects of assessments there were identified following areas: foci of the manifestation of Hg hypolimnetic emanations on the landscape surface - dispersion halos in the areas of the Earth crust fracture (the dome of the Astrakhan gas condensate field); environmentally dangerous (sometimes even at a low total content of Hg) parts of cities, towns, their districts, as well as beds of watercourses and water reservoirs bottom (the Volga river valley and delta, the Lefortovo quarter in Moscow). There was also diagnosed the threshold of the background distribution of gross Hg content detected = 0.2-0.3 mg/kg. Its magnitude is consistent with domestic and abroad safe levels of Hg accumulation in soils = 0.3-0.4 mg/kg. The approach provides the differentiation of the environmental hazard lands. Technology of the approach can be used in the development of normative Document for the diagnosis of environmental and sanitary condition of territories in the system of Classifications of hazard of waste, in decontamination of territories, water areas and land zoning according to the criteria of natural or anthropogenic Hg accumulation.

Key words: mercury; content; thermoforms; rationing; soil; alluvium; diagnostics; ecological-hygienic condition; the Astrakhan region; Moscow.

For citation: Bogdanov N.A. The approach to the regulation of mercury according to the content of its thermoforms in soils and bed loads. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(1): 106-113. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-2-106-113>

For correspondence: Nikolay A. Bogdanov, MD, PhD, DSci., leading researcher of the Laboratory of geomorphology of the Institution of Geography, Moscow, 119017, Russian Federation. E-mail: nabog@inbox.ru

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: 20 March 2016

Accepted: 13 May 2016

Введение

Важное место среди оценок химического загрязнения окружающей среды занимает проблема ртути (Hg). Ключевыми являются вопросы идентификации ее происхождения (генезиса: природного или техногенного) и нормирования. Актуальность оптимального их решения для диагностики состояния земель и здоровья населения не нуждается в пространном обосновании.

Для корреспонденции: Богданов Николай Александрович, д-р. геог. наук, внештат. сотр. лаб. геоморфологии, ФГБУН Институт географии РАН, 119017, Москва. E-mail: nabog@inbox.ru

Нормирование валового содержания Hg в почвогрунте производится разными, в т.ч. и гигиенически обоснованными способами: а) по абсолютным концентрациям (С); б) сравнением с фоновым содержанием ($K_c = C/C_{фон}$); на основе нормативных показателей в) ПДК = 2,1 мг/кг [1] или «целевых» уровней содержания в почве г) 0,4 мг/кг, соотносимое с ПДКс.с. = 300 нг/г в атмосферном воздухе (СССР) [2] и д) 0,3 мг/кг – безопасный пороговый уровень концентрации (Западная Европа) [3, 4].

Известна также диагностика по соотношению термоформ Hg в почвах, грунтах и донных наносах поверхностных водных объектов (аллювий). Метод не имеет гигиенического обоснования, но позволяет, в отличие

Экспертные показатели оценок накопления Hg в почвах и донных наносах

Индекс	Показатель и генезис очагов концентрации	Формула расчета по соотношению содержания термоформ
<i>Kэл</i>	Коэффициент глубинного (эндогенного) привноса ртути: диапазон 0,4–1,5; >1 – преобладание природного поступления	$K_{эл} = \Sigma_i (ИЗ + СУ + ХС + ФС) / \Sigma_{фон} (ИЗ + СУ + ХС + ФС)$ (почвы)
<i>Kа</i>	Коэффициент миграционной (геохимической) активности при Hg[вал] ≤ 250 мкг/кг: диапазон 0,4–15,1; <0,7 – природное поступление То же при Hg[вал] > 250 мкг/кг: диапазон 0,6–98; >1 – техногенное поступление	$K_a = ХЛ/ИЗ$ (почвы и аллювий) $K_a = (ХЛ + СВ + ФС)/ИЗ$ (почвы)
<i>Kфс</i>	Показатель поступления Hg, адсорбированной взвесью: ≥ 0,8 – техногенное поступление	$K_{фс} = ФС/(ХС + СУ)$ (аллювий)
<i>Kз</i>	Показатель характера загрязнения: ≥ 1 – техногенный	$K_z = ХЛ/(ФС + ХС + СУ + ИЗ)$ (аллювий)

от нормирования по валовому содержанию, идентифицировать генезис и ориентировочную экологическую опасность аномалий. В значительной мере она связана с количеством в почвогрунте или аллювии подвижных низкотемпературных форм [5–9] (табл. 1).

Термоформы при непрерывном прогреве и термическом разложении пробы в порядке уменьшения миграционной их активности и токсичности с ростом температуры возгонки паров Hg, условно обозначены как: СВ (Свободная: <180 °С – Hg°, фториды, бромиды, йодиды, нитраты, ацетаты, фульминаты); ХЛ (Хлоридная: 180–250 °С – хлориды, арсенаты, метил- и этил-Hg); ФС и ХС (Физически и Химически Сорбируемая: 250–400 °С); СУ (Сульфидная: 400–500 °С – сульфиды, оксиды, сульфаты); ИЗ (Изоморфная: >500 °С – силикаты и др. инертные формы) [3, 7–8]. В комплексах низко-, средне- и высокотемпературных разновидностей также условно выделены группы «мобильных» (наиболее негативных по воздействию), «устойчивых» и «инертных» форм («СВ + ХЛ»; «ФС + ХС» и «СУ + ИЗ» соответственно). Термоформы отражают комплексы соединений. Они не привязаны к конкретным минералам или химическим веществам.

Цель работы – оценить возможности и определить области применения подхода к нормированию Hg по количественным соотношениям ее термоформ в почвах и донных наносах при диагностике эколого-гигиенического состояния в разной мере освоенных земель.

Материал и методы

Метод апробирован как на целинных или слабо урбанизированных землях полупустынь и поселков в долине и дельте р. Волги (юг Астраханского региона), так и в пре-

делах одного из промышленно развитых кварталов крупного города (Москва). Объекты приурочены к различным агроклиматическим поясам с разными условиями миграции загрязняющих веществ (ЗВ), что обеспечивает кондиционность (достоверность и представительность) результатов диагностики. Для первого объекта характерен сухой и жаркий климат с выпотным летним режимом почв – супесчаных по берегам р. Волги и суглинистых в долине и дельте реки, где сосредоточены основные «ядра» урбанизации (населенные пункты с промышленно-хозяйственной инфраструктурой). Почвы здесь в разной степени антропогенно нарушены, засолены с поверхности сульфатами и хлоридами, влияющими, как и сезонные режимы выпота влаги, на миграционную способность ЗВ [5]. Второй объект – в средней полосе умеренного климата с промывным режимом почв. В обследованном квартале Москвы они представлены техногенным насыпным слабо задернованным гумусированным гравийно-песчаным урбогрунтом [6].

В обоих случаях реакция рН – слабощелочная; по механическому составу почвы и грунты, в основном супесчаные, реже – суглинистые. Основные источники Hg – техногенные (различные передвижные и стационарные установки по сжиганию твердого, жидкого топлива, природного газа; гальваностегия и др.); природные имеют второстепенное значение и специфический характер (ореолы рассеяния в почвах от глубинных поступлений Hg по разломам земной коры над центром Астраханского газоконденсатного месторождения – АГКМ) [5–7].

Пробы почв отбирали по стандартным методикам [1–3, 5–8]: по лучам (от точечных источников, среди которых наиболее крупный – Астраханский газовый комплекс, АГК); по регулярной сети в населенных пунктах (0–5 см

Таблица 2

Полный спектр термоформ Hg в нейтрально-щелочном почвогрунте: фон и урбанизированные территории, Астраханский регион [5, 7]

Термоформы (по [4])	Геохимическая активность форм	t°С возгонки	АГК, S _i , %*(супеси)		S ₂ , %** (супеси, суглинки)		АГК, Ka ₁	Ka ₂
СВ	Мобильные	<180	25 (21)	41 (53)	10 (1)	30 (91)	0,7–1,0 (2,0) при Kэл = 0,80	0,7 (90) при Kэл = 0,13
ХЛ		180–250	16 (32)		20 (90)			
ФС	Устойчивые	250–360	18 (18)	20 (20)	12 (6)	25 (7)		
ХС		360–400	2 (2)		13 (1)			
СУ	Инертные	400–500	15 (11)	39 (27)	16 (1)	45 (2)		
ИЗ		500–1100	23 (16)		29 (1)			

Примечание. * – фон (Hg[вал] = 9 мкг/кг). Полупустыни в районе АГК: термоформы от валового их количества,%. В скобках – аномалии: зона влияния АГК (Hg[вал] = 36 мкг/кг); ** – поселки и их окрестности в дельте р. Волги: термоформы от валового их количества, % (среднее для супесей и суглинков при Hg[вал] = 18 мкг/кг). В скобках – аномалии со слабым хлоридно-сульфатным засолением грунта (пос. Оранжевые, Hg[вал] = 244 мкг/кг). Значения Ka – аналогично: фон (аномалия).

– почвы и урбогрунт или 0–2 см – слабосцементированная корочка вершин песчаных бугров полупустынь); в характерных точках русел водотоков (0–5 см слой накопления донного органоминерального наила). Образцы отбирали в конце засушливых летне-осенних периодов с максимальным в году концентрированием ЗВ в депонирующих средах.

Валовое содержание ртути ($Hg_{\text{вал}}$) и ее термоформ определено (по В.Л. Таусону [8]) на атомно-абсорбционном анализаторе ИМГРЭ-900 (А.А. Волох [7]) с модифицированной схемой эффекта Зеемана, где влияние нерезонансного излучения и неселективных помех достаточно малы, что позволяло анализировать материал без предварительной пробоподготовки. Непрерывный прогрев пробы до 1100°C обеспечивал отчетливое разделение фракций по температуре возгонки и возможность избегать наложения одной термоформы на другую. Контроль отдельных измерений – методом «холодного пара». Пределы обнаружения – 1 мкг/кг [5–8].

Результаты и обсуждение

Основы диагностики опираются на особенности поведения Hg в окружающей среде. Ртуть может находиться как в дезактивированном инертном состоянии, так и подвергаться метилированию, загрязнять ядовитыми парами и токсичными металлоорганическими соединениями сопредельные среды [3–9]. Напомним кратко: металлическая Hg и многие неорганические ее соединения почти нерастворимы в воде, инертны, слабо поглощаются живыми организмами, а проникнув в них, довольно легко выводятся во вне [3]. Им соответствуют, в основном, средне- и высокотемпературные Сорбционные и СУ формы Hg , из которых ИЗ форма наименее опасна. Она входит в состав кристаллической решетки ряда минералов и имеет природный генезис [7, 8]. Высокотоксичны – пары и мобильные легкостворимые миграционно активные соединения, соответствующие низкотемпературным формам Hg . В их числе наиболее опасна металлоорганическая метил- Hg (входит в комплекс соединений, объединенных под условным названием «ХЛ»). Метилирование начинается в определенных условиях, которым удовлетворяет качество почвогрунта множества участков обследованных земель: $Hg_{\text{вал}} > 0,1 \text{ мкг/кг}$, наличие доноров метильных и этильных радикалов (например, на богатых органикой заиленных, гумусированных или загрязненных нефтепродуктами землях), ультрафиолетовое облучение и органические почвенные кислоты; реакция $pH = 6-8$, диапазон температур дневной поверхности $4-70^{\circ}\text{C}$ [9]. Металлоорганическая Hg миграционно активна, почти полностью поглощается и очень медленно выводится из биологических объектов [3].

Учитывая эти, кратко изложенные свойства Hg , особенности ее поведения в окружающей среде [9], опыт изучения природных форм [8] и количественных соотношений между термоформами металла [5–7], нами разработан ряд диагностических показателей (табл. 1). Основными можно считать коэффициенты эндогенного привноса или

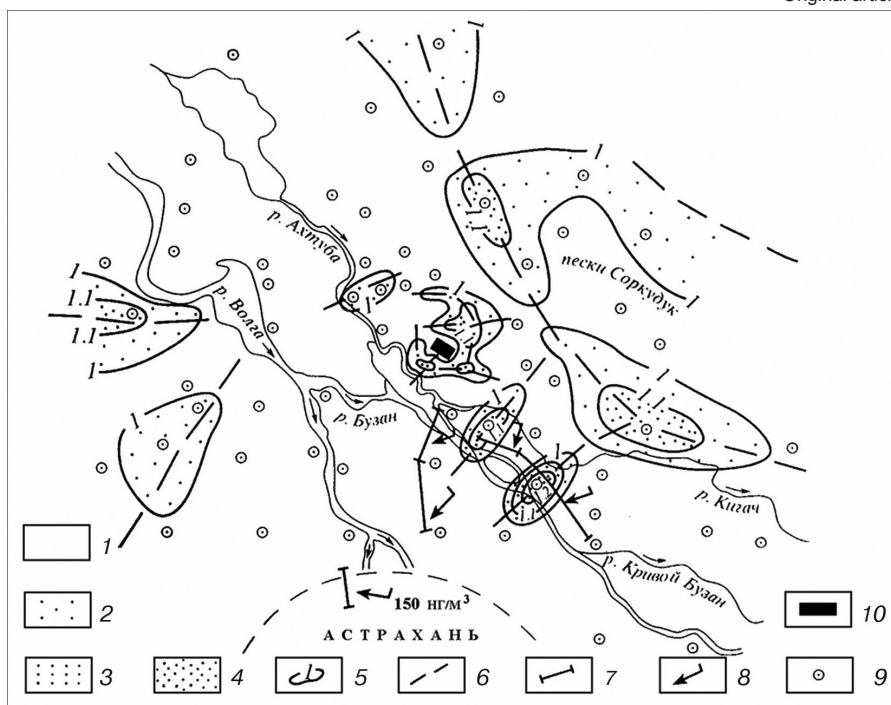


Рис. 1. Природная Hg : почвы полупустынь и долины р. Волги (КЭп) [5, 7]. Ореолы рассеяния в почвах от глубинного привноса и аномалии в атмосферном воздухе над ними.

Почвы: 1, 2, 3 и 4 – значения коэффициента КЭп: $<1,0$, $1,0-1,1$, $1,1-1,2$ и $1,2-1,5$ соответственно; 5 – изолинии значений КЭп, 6 – зоны трещиноватости земной коры, 7 и 8 – атмосферические аномалии $Hg = 100-120 \text{ нг/м}^3$, обнаруженные газортутными измерениями, и ветер при их проведении, соответственно; 9 – точки отбора проб почв, 10 – АГК.

глубинных поступлений из недр (КЭп) и геохимической или миграционной активности (Ка) Hg . Первый из них идентифицирует очаги природной Hg (соотношения сумм малоподвижных форм в точке отбора пробы и на фоне). Второй определяет экологическую опасность ореолов Hg

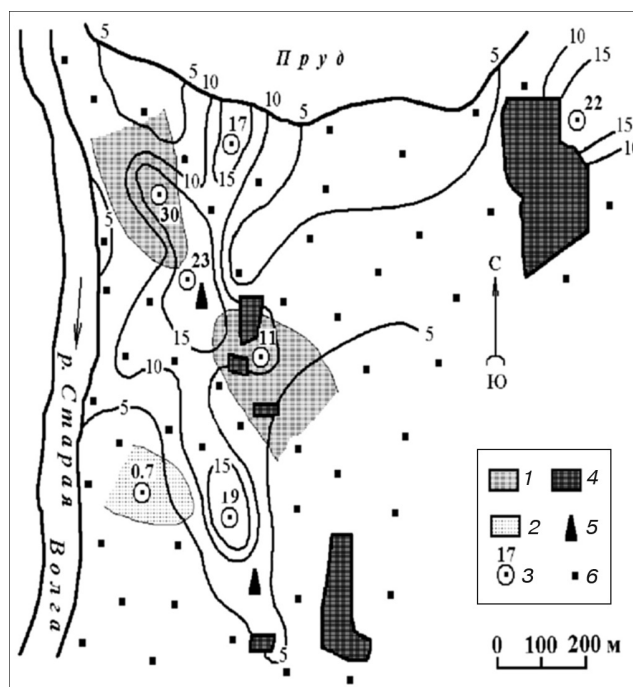


Рис. 2. Техногенная миграционно активная Hg (Ка) в ареале валового ее накопления $Hg_{\text{вал}}$: почвогрунт, пос. Житное, дельта р. Волги [7]. Значения коэффициента Ка: 1 и 2 – $19,5-21$ и $10-11$ соответственно; 3 – Кс в аномалиях валовой ртути ($Hg_{\text{фон}} = 6 \text{ мкг/кг}$), 4 – промышленные объекты, 5 – котельные, 6 – точки отбора проб.

Таблица 3

Простые корреляции между содержанием термоформ Hg в интервалах диапазона валового ее количества (почвогрунт поселков и их окрестностей в дельте р. Волги)

Формы	СВ	ХЛ	ФС	ХС	СУ	ИЗ
<i>Hg[вал] ≤ 250 мкг/кг, 94% проб</i>						
СВ	1					
ХЛ	0,13	1				
ФС	0,29	0,51	1			
ХС	0,57	0,25	0,56	1		
СУ	0,59	0,19	0,50	~1	1	
ИЗ	0,55	0,13	0,41	0,74	0,74	1
<i>Hg[вал] > 250 мкг/кг, 6% проб</i>						
СВ	1					
ХЛ	0,63	1				
ФС	~1	0,68	1			
ХС	0,94	0,45	0,91	1		
СУ	0,94	0,45	0,91	1	1	
ИЗ	0,19	-0,40	0,08	0,49	0,49	1

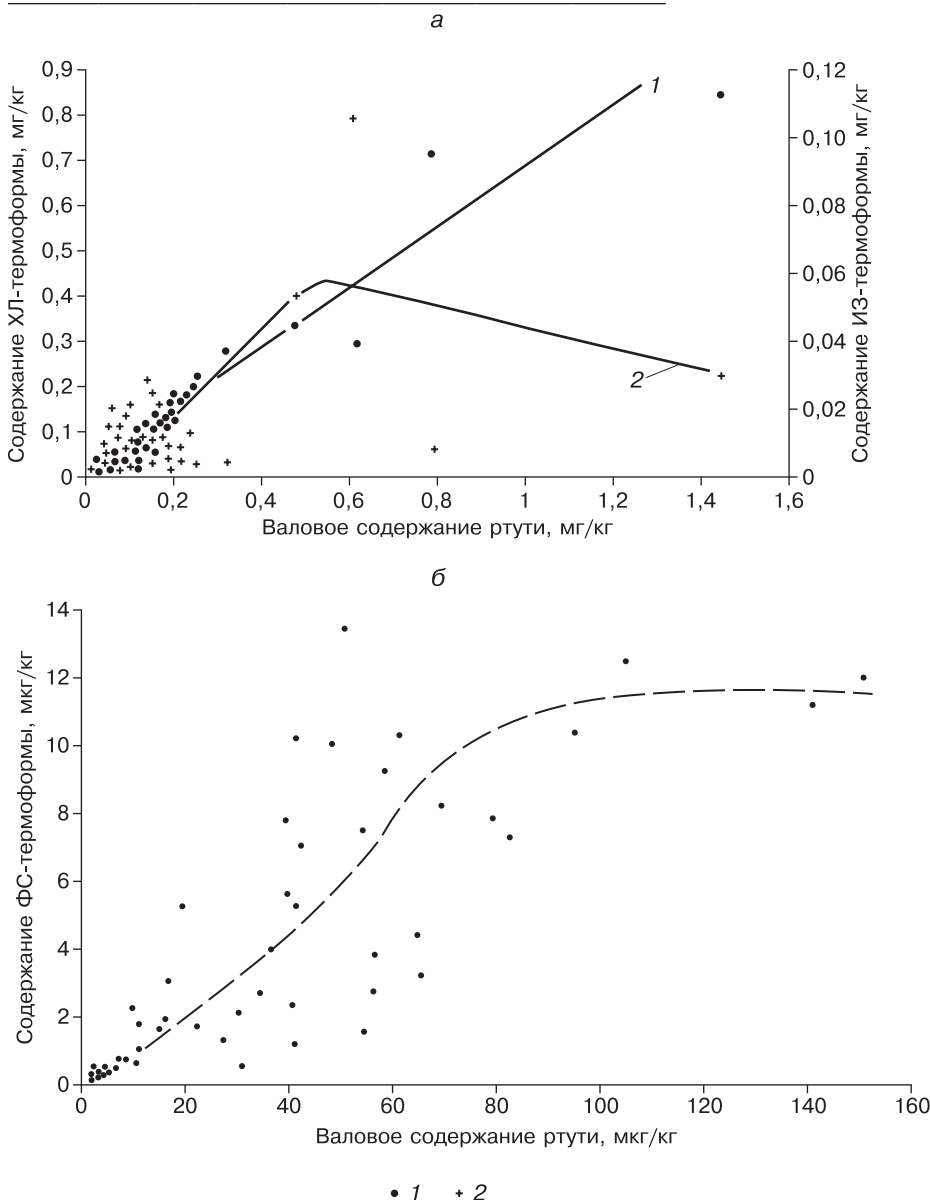


Рис. 3. Зависимость содержания ХЛ (1) и ИЗ (2) форм Hg от валовых ее концентраций в почвах (А) и аллювии (Б, для ФС форм).

(соотношения токсичной миграционно активной ХЛ и природной инертной ИЗ форм в пробе). Опасность очага накопления тем выше, чем больше значения *Ka* (возрастающие с уменьшением в пробе относительной доли высокотемпературных инертных форм).

В Астраханском регионе обследованы десятки поселков с их окрестностями, система водных объектов судорожного и наиболее крупного дельтового рукава Бахтемир (протяженность ~100 км от Астрахани до устья Волго-Каспийского канала). В 275 пробах (из >1300 отобранных образцов) концентрация Hg[вал] была невелика и достигала 1,5 мг/кг. На фонах или слабо освоенных землях господствуют «устойчивые» и «инертные» (60–70%), а в техногенных аномалиях – «мобильные» (до 91%) группы форм Hg. В образцах обнаружен полный спектр термоформ (табл. 2, рис. 1, 2).

По изменению тесноты корреляционных связей (r) между термоформами на землях дельты выделен порог значений валовой ртути. Он разделяет весь интервал значений Hg[вал] = 4–1454 мкг/кг на две группы – меньше и больше 250 мкг/кг (табл. 3, рис. 3) [5, 7].

Группы различаются плотностью распределения содержания термоформ в зависимости от величин Hg[вал] и тесноты связей между ними.

В первой группе Hg[вал] ≤ 250 мкг/кг точки, соответствующие содержанию практически всех форм, располагаются наиболее плотно на графиках (рис. 3). Комплекс форм ХС–СУ–ИЗ не обнаруживает определенной зависимости от Hg[вал]. Содержание ХЛ формы образует таковую, близкую к прямой. Характер распределения концентраций характерен для природно-фоновых условий накопления Hg (табл. 1–3).

Порог содержания Hg[вал] = 0,25–0,3 мг/кг в почвах окрестностей поселков дельты оказался близок к отечественным и зарубежным безопасным уровням концентраций (0,3 и 0,4 мг/кг [2–4]). В более опесчаненных почвах и в песчаных корочках бугристых песков полупустынь такого рода порог имеет величину Hg[вал] = 50 мкг/кг (окрестности АГК) [5, 7]. Ниже порога связи между ХЛ и ИЗ формами отсутствуют ($r = 0,13$; 94% проб).

Выше порога – с усилением техногенного воздействия, эти формы слабо и обратно взаимозависимы ($r = -0,40$; 6% проб). Наблюдается отчетливый рост прямых связей между ХЛ и каждой из СВ и ФС форм ($r = 0,63$ и $0,68$ соответственно). Характер кривых зависимостей мобильных и более инертных форм от Hg[вал] существенно меняется (рис. 3).

Во второй группе Hg[вал] > 250 мкг/кг (повышенное количество Hg) плотность распределения

содержания всех термоформ резко падает. Наиболее индивидуальны и максимально отличны друг от друга диаграммы, относящиеся к термоформам – генетическим антиподам: ХЛ (техногенная) и ИЗ – природная (рис. 3, А). Тесные корреляционные связи в группе характерны для «блока» ХС–СУ–ИЗ форм. С ним слабо и неустойчиво связана СВ форма. Теснота связей среднетемпературных форм ФС, ХС и СУ показывает условность границ между ними и их принадлежность к единому «блоку сульфосолей». Устойчивая связь с этим блоком низкотемпературной СВ формы, очевидно, указывает на образование металлической Hg именно из сульфосолей (в условиях повышенных количеств Hg[вал]). Без наличия СУ форм в урбогрунте СВ формы могут не генерироваться и отсутствовать (квартал в Лефортово).

Рост интенсивности загрязнения Hg[вал] обуславливает и увеличение тесноты связей между ХЛ и ФС (сорбционной) формами. Тенденция может быть обязана проявлением активного поступления аэрозолей или взвесей (речная вода) как центров конденсации Hg. Так, в атмосфере Hg мигрирует в соотношениях: 5% на аэрозолях и 95% в виде паров металла; в радиусе до 5 км от источника выпадает 6% от валового ее количества, а в 100 км – 60% (за счет переноса паров Hg). В поверхностных водах до 90% Hg переносится на взвешах [3, 4, 8, 9]. Возрастание доли ХЛ и ФС форм служит, таким образом, одним из индикаторов интенсивности техногенного ртутного загрязнения (показатель Ка).

С использованием диагностических показателей над центром АГКМ оконтурены зоны природного поступления Hg – места проявления «ртутного дыхания Земли» от дегазации мантии (рис. 1). В «ядрах» поселковой урбанизации долины р. Волги ореолы токсичных миграционно активных соединений в границах значений коэффициента $K_a \geq 3,0$ ед. по очертаниям идентичны очагам Hg[вал] = 75–300 мкг/кг ($K_c = 5–19$). В поселках дельты, расположение очагов существенного накопления Hg[вал] и высоких значений K_a также совпадало. Однако в отдельных очагах с концентрацией Hg[вал] на уровне или ниже фона ($K_c = 0,7$), количество опасной низкотемпературной техногенной Hg существенно превышало ($K_a = 11$) содержание инертных форм (рис. 2) [5, 10]. Такие соотношения служат индикатором экологической проблемности данных участков территории.

Для аллювия рукава Бахтемир разработана шкала нормирования ртутного загрязнения по интенсивности накопления и наличию источников привноса с учетом сочетаний количества Hg[вал] и значений диагностических показателей. Порог фонового накопления металла в донных наносах оказался равным 20 мкг/кг, а превышение уровня концентрации 70 мкг/кг диагностирует начало существенного техногенного воздействия [10] (табл. 4).

Ориентировочное нормирование Hg: донные наносы, рукав Бахтемир

Ка	Kz	Kфс	Hg[вал], мкг/кг	Интенсивность накопления	Наличие и характер источника
$\leq 2,8$	< 1	0,3–0,8	< 20	Фоновый уровень (Hg[вал] = 10 мкг/кг)	Нет
2,9–5,5	≥ 1	0,8–1	≥ 20 , но ≤ 70	Антропогенно-измененный фон	Хозяйственно-бытовой
5,6–10,9	> 1	1–4	> 70	Слабая	Техногенный

В Москве территория небольшого (300 × 500 м), но техногенно обремененного квартала в Лефортово, расположена с подветренной СВ стороны от бывшего завода «Серп и Молот». Здесь размещены цех гальваники, пункты отжига моторных масел; корпуса промышленных предприятий, учебных и медицинских заведений (рис. 4).

По северной и СВ окраинам квартала – многоэтажные дома, жители которых подвергались долговременному воздействию выбросов от ближних внешних источников ЗВ (паровозное депо, металлургические и приборостроительные производства, транспорт оживленных автомагистралей шоссе Энтузиастов, ул. Красноказарменная и др.). Повышенные концентрации ЗВ в атмосфере наблюдались в штиль и при любых направлениях ветра средней скоростью до 7 м/с (4,3–5 ПДК – NO₂, SO₂ и др.). Из 35 отобранных проб урбогрунта термоформы Hg определены в 5 образцах. Их местоположение характеризует эколого-гигиеническое состояние отдельных секторов квартала (с учетом господствующих ЮЗ ветров и локализации источников ЗВ по отношению к жилью) (рис. 4, 5; табл. 5) [6].

Условно фоновый участок выделен с наветренной СЗ стороны квартала. Влияние источников и содержание ва-

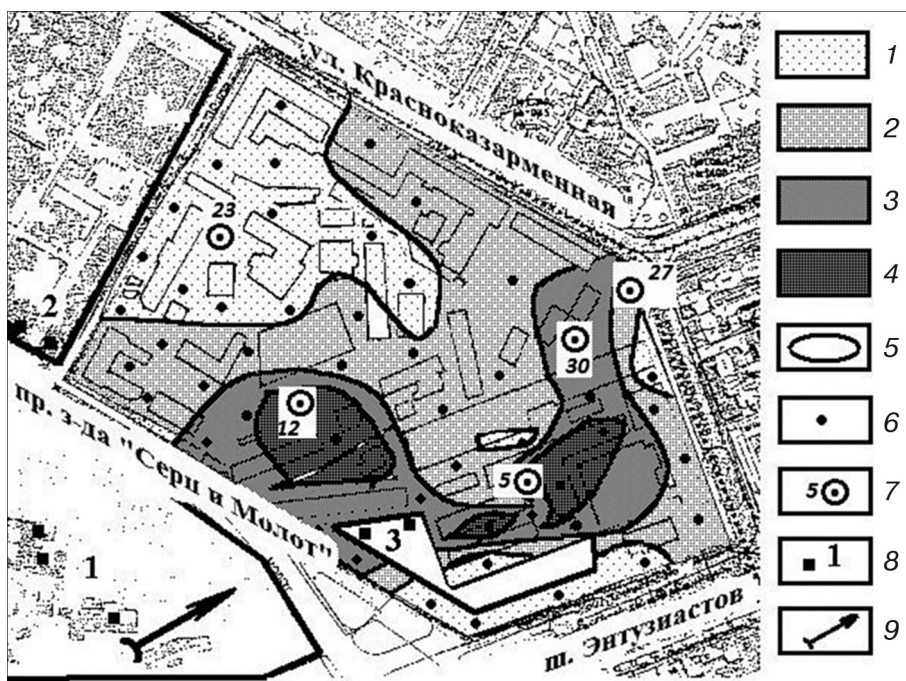
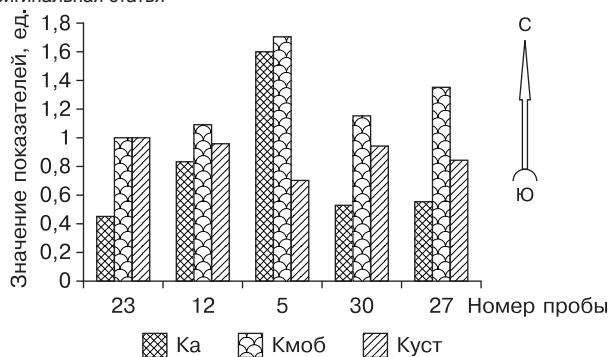


Рис. 4. Эколого-гигиеническое состояние и инфраструктура квартала в Лефортово, Москва [6].

1, 2, 3 и 4 – кратность содержания Hg (C) в почве нормативу 0,4 мкг/кг [2], соответствующему ПДК_с = 300 нг/м³ Hg в атмосферном воздухе, ПДК_с: 0,5–1, 1–2, 2–3 и 3–8,1, соответственно; 5 – изолинии кратности отношения (C мкг/кг / 0,4 мкг/кг); 6 – точки отбора проб урбогрунта; 7 – то же, номера образцов, в которых определены термоформы Hg; 8 – источники выбросов: 1 – паровозное депо завода «Серп и Молот», 2 – завод Всероссийского энергетического института (ВЭИ), 3 – пункты отжига моторного масла (высота труб 5–7 м), 4 – цех гальваностегии МНИИПА; 9 – вектор господствующего в году направления ветра.



Характер накопления Hg:

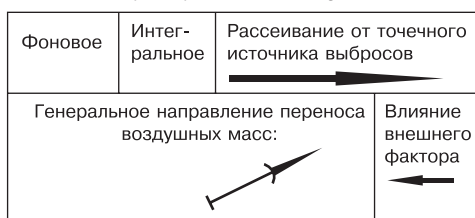


Рис. 5. Изменчивость значений показателей ртутного загрязнения от характера накопления Hg[вал] в урбогрунте (Лефортово, Москва). Показатели: Ка, Кmob и Куст – «геохимической активности», «мобильности» и «устойчивости» соответственно.

ловой ртути здесь минимальны (Hg[вал] = 258 мкг/кг). Очень сильно и опасно загрязненными оказались южный и ЮВ секторы квартала. Они подвержены непосредственному влиянию выбросов установки отжига моторных масел (Hg[вал] > 1,5 ПДК, почвогрунт). В воздухе у земли концентрации Hg часто превышали 8 ПДК с.с. (пересчеты по МР № 5174-90 [3]).

Важно отметить: в Москве с насыпным грунтом, в отличие от почв Астраханского региона, полный спектр термоформ Hg не выявлен. Отсутствовали как СВ, так и СУ и ИЗ формы. Идентифицированы лишь ХЛ и Сорбционные формы. Такая ситуация может быть обусловлена отмеченной выше генетической связью термоформ в условиях повышенного уровня ртутного загрязнения грунта: СВ образуется из блока сульфосолей и СУ форм (табл. 5).

Уточнить и дифференцировать экологическую опасность ртутного загрязнения в отдельных сегментах квартала позволили разработанные нами диагностические показатели Мобильности и Устойчивости (Кmob = Сmob_i / Сmob_фон и Куст = Суcт_i / Суcт_фон, соответственно). Принцип их расчета – соотношения сумм условно «мобильных» и относительно «устойчивых» соединений в точке отбора пробы (C_i) и на условном фоне (C_фон).

Наиболее чутко и неоднозначно реагировал на условия накопления коэффициент Кmob (рис. 5). Обнаружено 2 пика его значений. Максимальный связан с воздействием выбросов от пункта отжига моторных масел («очень сильное» загрязнение: ≥1,5 ПДК, до 13 местных фонов). Второй пик проявился неожиданно и приурочен к детской площадке у жилых домов. Количество Hg[вал] составляло здесь всего лишь 3 местных фона, в то время как значения Кmob были немного ниже максимальных величин. В этом секторе конечного рассеивания выбросов от цеха гальваники и пункта отжига моторных масел выявлено «свежее» воздействие внешнего источника – автомагистралей.

Эколого-гигиеническое состояние сегментов квартала определяется в данном случае следующими параметрами показателей (табл. 6).

Определенную экологическую опасность могут представлять также и очаги с незначительным содержанием валовой ртути Hg[вал], но с высокой концентрацией мо-

Таблица 5

Hg в урбогрунте квартала в Лефортово, Москва

№ пробы – ситуация	Hg[вал], мкг/кг	Термоформы	t°C возгонки	Содержание, %	Ка	Кmob	Куст		
27: жилая зона – детская площадка, многоквартирные дома, Проезд № 137	794	<i>Мобильные, ХЛ</i>	180–210	23,8	41,3	0,56	1,35	0,84	
			210–260	17,5					
		<i>Устойчивые, ФС</i>	260–280	15,9					58,7
			280–360	42,8					
30: жилая зона – автостоянка, двор многоквартирных зданий	1214	<i>Мобильные, ХЛ</i>	185–210	16,7	35	0,53	1,15	0,94	
			210–250	18,3					
		<i>Устойчивые, ФС</i>	250–270	15,0					65
			270–310	18,3					
5: рабочая зона – входящий ЮЗ угол, площадка отдыха сотрудников	3245	<i>Мобильные, ХЛ</i>	170–280	51,6	51,6	1,60	1,70	0,70	
			280–310	16,1					48,4
		<i>Устойчивые, ФС</i>	310–360	32,3					
12: рабочая зона – травянистый газон с древесной растительностью в понижении рельефа	1627	<i>Мобильные, ХЛ</i>	180–240	33,3	33,3	0,83	1,09	0,96	
			240–290	26,7					66,7
		<i>Устойчивые, ФС</i>	290–360	40,0					
23: условный фон – вне зоны направленного воздействия источников (травянистый газон)	258	<i>Мобильные, ХЛ</i>	170–215	18,0	30,5	0,45	1,0	1,0	
			215–240	12,5					
		<i>Устойчивые, ФС + ХС</i>	240–270	13,9					69,5
			270–310	15,3					
			310–400	40,3					

Примечание: пробы № 5–30–27 – в зоне подфакельного рассеивания выбросов от пунктов отжига моторных масел (с юго-запада на северо-восток). Курсивом выделены термоформы для расчета показателя Ка.

Диагностические характеристики эколого-гигиенического состояния промзоны (квартал в Лефортово, Москва)

Состояние	Значения диагностических показателей	Характер воздействия на территорию
Фоновое	Кмоб = 1,0 (Куст = 1,0 и Ка = 0,45)	Наветренное расположение к источникам, рассеивание ЗВ
Удовлетворительное	Кмоб = 1,09–1,15 или 1,2 (Куст = 0,96–0,94 и Ка = 0,83–0,53)	Интегральное воздействие от множества удаленных источников
Напряженное	Кмоб = 1,35 (Куст = 0,84 и Ка = 0,56)	Область рассеивания выбросов отдаленных источников со «свежим» воздействием автомагистралей, где неудачная планировка зданий способствует застою воздуха у земли
Неблагоприятное	Кмоб = 1,7 (Куст = 0,7 и Ка = 1,6)	Сектор прямого воздействия близкорасположенного низковысотного источника

Пр и м е ч а н и е. Шкала градаций экологической опасности состояния территории в соотношениях значений коэффициента Кмоб, ориентировочно выглядит так: 1 (фон) ÷ 1–1,2 (удовлетворительное) ÷ 1,2–1,5 (напряженное) ÷ >1,5 (неблагополучное).

бильных форм этого высокотоксичного тяжелого металла (что наблюдалось как в Астраханском регионе, так и в Москве)

Заключение

Подход к нормированию Hg в почвах, урбогрунте и донных наносах с привлечением данных о концентрациях термоформ металла существенно повышает информативность оценок ртутного загрязнения территорий. Он обеспечивает возможности: 1) дифференцировать экологическую опасность участков в разной мере освоенных земель, 2) выявлять экологически опасные очаги концентрации ртути, даже при низком валовом ее содержании, но с повышенным количеством низкотемпературных миграционно активных токсичных форм Hg, 3) идентифицировать и дифференцировать по территории зоны преимущественного природного поступления и техногенного накопления Hg в депонирующих средах, 4) диагностировать порог природно-фоновое распределения Hg[вал], величина которого в данном случае (0,2–0,3 мг/кг) согласуется с отчетственными и зарубежными безопасными уровнями накопления металла.

Кондиционность результатов исследований позволяет рекомендовать использование технологии подхода в различных научно-прикладных мероприятиях и разработках: а) нормативного Документа по диагностике эколого-гигиенического состояния территорий с учетом распределения содержания термоформ Hg в компонентах окружающей среды; б) в системе Классификаций опасности отходов на базе количественных закономерностей [11]. В данном случае – количественных соотношений Hg и ее термоформ; в) при деконтаминации и рекультивации территорий и акваторий; г) в зонировании земель по признакам природного или техногенного генезиса ртутного накопления или загрязнения.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п.п. 1, 3–7, 9–14 см. References)

2. Тец Г.В., Тец В.В., Артеменко Н.К. Спорообразующие бактерии – возбудители заболеваний дыхательной системы и предотвращение их распространения в стационаре. *Практическая пульмонология*. 2015; (1): 43–5.
8. Тец В.В., Тец Г.В., Викина Д.С., Вечерковская М.Ф., Харламова В.В. Неизвестные возбудители заболеваний в микрофлоре ротовой полости человека, актуальные для оториноларингологии. *Вестник оториноларингологии*. 2014; (1): 33–6.

References

1. Weber D.J., Rutala W.A., Sickbert-Bennet E.E. Outbreaks associated with contaminated Antiseptics and Disinfectants. *Antimicrob. Agents Chemother.* 2007; 51(12): 4217–24.
2. Tets G.V., Tets V.V., Artemenko N.K. Spore-forming bacteria – pathogens of the respiratory system and preventing their spread in the hospital. *Prakticheskaya pul'monologiya*. 2015; (1): 43–5. (in Russian).
3. Moeller R., Raguse M., Reitz G., Okayasu R., Li Z., Klein S. et al. Resistance of *Bacillus subtilis* spore DNA to lethal ionizing radiation damage relies primarily on spore core components and DNA repair, with minor effects of oxygen radical detoxification. *Appl. Environ. Microbiol.* 2014; 80(1): 104–9.
4. The Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Available at <http://www.gbif.org/species/8113>
5. Schmidt T.R., Scott E.J. 2nd, Dyer D.W. Whole-genome phylogenies of the family Bacillaceae and expansion of the sigma factor gene family in the *Bacillus cereus* species-group. *BMC Genomics*. 2011; 12: 430.
6. Tetz G.V., Tetz V.V. Complete Genome Sequence of *Bacilli* bacterium Strain VT-13-104 Isolated from the Intestine of a Patient with Duodenal Cancer. *Genome Announc.* 2015; 3(4): e00705–15.
7. Tetz G.V., Tetz V.V., Vecherkovskaya M.F. Complete Genome Sequence of *Paenibacillus* sp. Strain VT 400, Isolated from the Saliva of a Child with Acute Lymphoblastic Leukemia. *Genome Announc.* 2015; 3(4): e00894–15.
8. Tets V.V., Tets G.V., Vikina D.S., Vecherkovskaya M.F., Kharlamova V.V. Unknown pathogens in the microflora of the human oral cavity, pressing for otorhinolaryngology. *Vestnik otorinolaringologii*. 2014; (1): 33–6. (in Russian).
9. McDonnell G., Russell D.A. Antiseptics and Disinfectants: Activity, Action, and Resistance. *Clin. Microbiol. Rev.* 1999; 12(1): 147–79.
10. Setlow P. I will survive: DNA protection in bacterial spores. *Trends Microbiol.* 2007; 15(4): 172–80.
11. Thomas P., Aswath C. Alcohol-Mediated Horizontal Spread of *Bacillus* Spores and Assessing the Recurrent Sterilization Needs of Culture-Handling Tools Contaminated with Hardy Spores. *C. Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. B Biol. Sci.* 2013; 83(2): 207–13.
12. Brossier F., Mock M. Toxins of *Bacillus anthracis*. *Toxicon*. 2001; 39(11): 1747–55.
13. Steen M.K., Bruno-Murtha L.A., Chau G., Lazar H., Bernard S., Sulis C. *Bacillus cereus* endocarditis: report of a case and review. *Clin. Infect. Dis.* 1992; 14(4): 945–6.
14. Drobniowski F.A. *Bacillus cereus* and related species. *Clin. Microbiol. Rev.* 1993; 6(4): 324–38.

Поступила 20.03.16
Принята к печати 13.05.16

Литература

1. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. М.; 2003.
2. МР 5174-90. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов по их содержанию в снежном покрове и почве. М.; 1990.
3. ВОЗ. Ртуть. Критерии санитарно-гигиенического состояния окружающей среды. Женева; 1979.
4. Бессонов В.В., Янин Е.П. Способы оценки и ремедиации загрязненных ртутью городских почв. В кн.: *Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики. Сборник научных трудов*. М.: ИМГРЭ; 2005: 160-80.
5. Богданов Н.А. *Экологическое зонирование: научно-методические приемы (Астраханская область)*. М.: Едиториал УРСС; 2005.
6. Богданов Н.А. Эколого-гигиеническое состояние городской среды квартала в административном округе Москвы Лефортово. В кн.: Кошкарёв А.В., Лихачева Э.А., Тишков А.А., ред. *Геоэкологические проблемы Новой Москвы: Сборник научных трудов*. М.: Медиа-ПРЕСС; 2013:54-65.
7. Богданов Н.А., Волох А.А., Морозова Л.А. Опыт выявления экологически опасных зон ртутного загрязнения почв и донных отложений. *Экологическая химия*. 2000; 9(2): 115-30.
8. Таусон В.Л., Гелетий В.Ф., Меньшиков В.И. Уровни содержания, характер распределения и формы нахождения ртути как индикаторы источников ртутного загрязнения природной среды. *Химия в интересах устойчивого развития*. 1995; (3): 151-9.
9. *Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах. Аналитический обзор*. Ч. 1-3. Новосибирск: ГПНТБ СО АН СССР; 1989.

10. Богданов Н.А., Чуйкова Л.Ю., Чуйков Ю.С., Шендо Г.Л., Рябикин В.Р. Геоэкология дельты Волги: Икрянинский район. М.: Медиа-ПРЕСС; 2013.
11. Русаков Н.В., Рахманин Ю.А. Отходы, окружающая среда, человек. М.: Медицина; 2004.

References

1. SanPiN 2.1.7.1287-03. Sanitary-epidemiological requirements for soil quality. Moscow; 2003. (in Russian)
2. MR 5174-90. Guidelines for the assessment of the degree of air pollution in settlements according to their content in snow cover and soil. Moscow; 1990. (in Russian).
3. WHO. Mercury. The criteria for sanitary and hygienic state of the environment. Geneva; 1979. (in Russian)
4. Bessonov V.V., Yanin E.P. Methods of assessment and remediation of mercury contaminated urban soils. Proc.: *Problems of Geochemistry, Ecology, Analytics. Collection of Scientific Papers [Rtut'. Problemy geokhimii, ekologii, analitiki. Sbornik nauchnykh trudov]*. Moscow: IMGRE; 2005: 160-80. (in Russian)
5. Bogdanov N. A. *Ecological Zoning: Scientific and Methodological Techniques (Astrakhan Region) [Ekologicheskoe zonirovaniye: nauchno-metodicheskie priemy (Astrakhanskaya oblast')]*. Moscow: Editorial URSS; 2005. (in Russian)
6. Bogdanov N. A. Ecological-hygienic state of urban environment of the quarter in administrative district of Moscow Lefortovo. In: Koshkarev A.V., Likhacheva E.A., Tishkov A.A., eds. *Geoecological Problems of the New Moscow: Collection of Scientific Papers [Geoekologicheskie problemy Novoy Moskvy: Sbornik nauchnykh trudov]*. Moscow: Media-PRESS; 2013: 54-65. (in Russian)
7. Bogdanov N.A., Volokh A.A., Morozova L.A. Experience of identifying environmentally dangerous areas of mercury contamination of soils and bottom sediments. *Ekologicheskaya khimiya*. 2000; 9(2): 115-30. (in Russian)

8. Tauson V.L., Geletiy V.F., Men'shikov V.I. Levels of the nature and distribution of forms of mercury finding as indicators of environmental mercury pollution sources. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 1995; (3): 151-9. (in Russian)
9. *The Behavior of Mercury and Other Heavy Metals in Ecosystems. Analytical Review [Povedeniye tuzh drugikh tyazhelykh metallov v ekosistemakh. Analiticheskiy obzor]*. Ch. 1-3. Novosibirsk: GPNTB SO AN SSSR; 1989. (in Russian)
10. Bogdanov N.A., Chuykova L.Yu., Chuykov Yu.S., Shendo G.L., Ryabikin V.R. *Geoecology of the Volga Delta: Ikryaninsky District [Geoekologiya del'ty Volgi: Ikryaninskiy rayon]*. Moscow: Media-PRESS; 2013. (in Russian)
11. Rusakov N.V., Rakhmanin Yu.A. *Waste, Environment, People [Otkhody, okruzhayushchaya sreda, chelovek]*. Moscow: Meditsina; 2004. (in Russian)

Поступила 20.03.16

Принята к печати 13.05.16