УДК 550.42

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО ОКРУГА МОСКВЫ ПО СНЕЖНОМУ ПОКРОВУ

Власов Д.В.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: vlasgeo@yandex.ru

На основе данных о величине pH, минерализации и составе талых снеговых вод, а также уровней выпадения тяжелых металлов и металлоидов было проведено эколого-геохимическое районирование южной части Восточного округа г. Москвы. Было выделено 13 районов. Наибольшую распространенность получили районы с ультрапресными кислыми и нейтральными хлоридно-кальциевыми снеговыми водами. Уровень выпадений тяжелых металлов и металлоидов на большей части округа низкий и очень низкий. Интенсивная эмиссия в большинстве выделенных районов установлена для Mo, Sb, As, W и Sn. Наиболее загрязнен тяжелыми металлами и металлоидами район, расположенный в северной части округа на пересечении МКАД и ш. Энтузиастов. На основе анализа геохимических коэффициентов выявлена неоднородность использования антигололедных средств на территории округа.

Ключевые слова: снежный покров, тяжелые металлы, Москва, районирование

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ZONING OF EASTERN DISTRICT OF MOSCOW BY SNOW COVER PROPERTIES

Vlasov D.V.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: vlasgeo@yandex.ru

The ecological and geochemical zoning of the Eastern District of Moscow was conducted based on data of pH, mineralization and chemical composition of melted snow and heavy metals and metalloids deposition rates. Thirteen zones were identified. The study revealed that the most common zones are with acidic and neutral Ca-Cl melted snow. Deposition rates of heavy metals and metalloids in most district are low and very low, but in some zones levels of Mo, Sb, As, W and Sn were high. The most polluted zone is near intersection of Moscow Ring Road and Jentuziastov Rd. The study based on analysis of geochemical factors identified different intensity of deicing compounds using in Eastern District of Moscow.

Keywords: snow cover, heavy metals, Moscow, zoning

Занимая лишь 2% площади суши, города потребляют 3/4 мировых ресурсов. В настоящее время половина населения планеты живет в городах, к 2030 г. городское население составит 60%, а к 2050 г. – 67% от мирового [10]. В России 73% населения проживает в 1060 городах и 2070 поселках городского типа [1]. Снежный покров – надежный источник данных о загрязнении атмосферного воздуха городов и удобный индикатор техногенных геохимических аномалий в других компонентах ландшафта [2]. Изучение загрязнения снежного покрова дает интегральную оценку состояния атмосферы за холодный период [5]. Основными источниками загрязняющих веществ для снежного покрова городов являются выбросы автотранспорта, промышленности, топливно-энергетического комплекса и антигололедные средства.

Важной проблемой эколого-геохимического изучения урбанизированных территорий является выделение участков с близкими условиями миграции поллютантов и уровнями загрязнения компонентов ландшафтов. Чаще всего она решается путем расчета суммарных показателей загрязнения почв и снежного покрова [2, 3], однако данный метод не учитывает связи между различными свойствами компонентов ландшафтов и уровнями их загрязнения и не позволяет дать характеристику общего состояния городской среды [4].

О.В. Моисеенковым [4] для эколого-геохимического районирования г. Тольятти был разработан и применен метод многомерного кластерного анализа, позволивший провести районирование по комплексу физико-химических условий почв с учетом их техногенной трансформации (pH, гранулометрический состав, содержание гумуса), определяющих интенсивность и характер миграции загрязнителей, а также по данным о содержании 9 металлов в них. В результате на территории города было выделено восемь наиболее устойчивых кластеров. Данный тип районирования основан на использовании фактического материала, полученного в ходе полевых и лабораторных исследований.

Цель исследований – на основе данных о составе талой снеговой воды и величины выпадений тяжелых металлов и металлоидов (ТМ) провести эколого-геохимическое районирование территории Восточного административного округа (ВАО) г. Москвы, где расположены крупные предприятия различного профиля. Загрязнение снежного

покрова ТМ в Москве исследовалось ранее [2, 5, 7], однако районирование территории города по комплексу геохимических показателей проводится впервые.

Объект исследований – территория Восточного округа – находится в пределах Подмосковной Мещеры, которая относится к подзоне южной тайги и представляет собой плоскую зандровую равнину с отметками абсолютной высоты 140–160 м. В течение года преобладают ветры южного и западного направлений [8]. Зимой 2009/10 гг. постоянный снежный покров установился 8 декабря. Максимальная высота снежного покрова мало отличалась от средней многолетней величины и составила в среднем 45–50 см, местами снижаясь до 25–30 см (вблизи автомагистралей) и увеличиваясь до 55–65 см (в жилых районах и на фоновых территориях).

В пределах ВАО изучена южная наиболее загрязненная часть – районы Косино–Ухтомский, Новокосино, Вешняки, Кусково, Новогиреево, Ивановское и Перово, предприятия теплоэнергетики, машиностроения и металлообработки, химии и нефтехимии, пищевой промышленности, производства стройматериалов и деревообработки, легкой и текстильной промышленности в промзонах Соколиная гора, Прожектор, Перово, а также Перовская районная тепловая станция и мусоросжигательный завод в Руднево, имеющих различную техногенную геохимическую специализацию выбросов. Не менее сильно воздействуют на городскую среду крупные автомагистрали – МКАД, шоссе Энтузиастов, Свободный и Зеленый проспекты, ул. Кетчерская, Перовская, Плеханова и другие, железные дороги.

Материалы и методы исследований

Данное исследование базируется на материалах снегомерной геохимической съемки, проведенной в начале марта 2010 г. для оценки основных физико-химических характеристик и уровня накопления ТМ в снежном покрове ВАО [3]. Полевые и лабораторные методы подробно изложены в [3]. Смешанные пробы снега отбирали в 51 точке на территории округа и 5 фоновых точках в 50 км на запад от Москвы в районе г. Звенигород. Пробы помещали в пластиковые ведра и растапливали при комнатной температуре.

Основные физико-химические характеристики определены в Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ. Путем фильтрования выделяли жидкую и твердую фазы. Анионный состав фильтрата (SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^-) определяли на жидкостном ионном хроматографе, катионный (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, $Na^{+)}$ – на атомно-абсорбционном спектрометре. Концентрацию ТМ в твердой фазе определяли во ВНИИ минерального сырья масс-спектральным и атомно-эмиссионным методами с индуктивно связанной плазмой.

Данные о величине пылевой нагрузки, концентрациях ТМ в пылевой составляющей снега, уровнях выпадений поллютантов и о пространственном распределении указанных параметров брались из работы [3]. Общая геохимическая нагрузка на ландшафты оценивалась двумя суммарными показателями – загрязнения снежного покрова Z_c и эмиссии элементов Z_d, которые представляют собой сумму K_c и K_d над фоновым уровнем соответственно:

$$Z_c = \sum K_c - (n-1); \quad Z_d = \sum K_d - (n-1),$$

где n – число химических элементов с K_c или $K_d > 1{,}5$ [2, 3].

Выделение эколого-геохимических районов проводилось путем построения в пакете Surfer 10 методом кригинга карт распределения pH, минерализации и классов макросостава талой снеговой воды, а также величины суммарных выпадений Z_d ТМ и дальнейшего синтеза информации с полученных карт методом оверлея.

Результаты исследований и их обсуждение

В районе Звенигорода талые снеговые сульфатно-хлоридно-кальциевые воды имеют слабокислую реакцию (pH 5,8), очень низкую минерализацию (6 мг/л) и малое содержание взвеси – 8 мг/л [3]. Фоновая пылевая нагрузка – 8 кг/км^2 в сут. – близка к аналогичному показателю (около 10 кг/км^2) для равнинной континентальной территории умеренных широт [3]. Происхождение аэрозолей можно определить путем расчета коэффициента обогащения КО относительно среднего состава земной коры: $КО = (Эл / NE)_{проба} / (Эл / NE)_{земн.кора}$, где Эл и NE – содержание интересующего и нормирующего элементов соответственно в пробе или в земной коре [9]. В качестве нормирующего элемента используют Al, Fe, Sc, La. На фоновой территории КО по La > 10 для Cu, Pb и Bi свидетельствует о преобладании поступления ТМ из атмосферы при их региональном переносе с прилегающих территорий.

Ранее было установлено подщелачивание талой воды в ВАО относительно фона в среднем на 0,4 ед., увеличение минерализации снеговой воды в 4 раза, возрастание пылевой нагрузки в 2,7 раза [3]. В округе происходит также изменение состава снеговых вод с хлоридно-кальциевого на сульфатно-кальциевый (на юге округа, воздействие ТЭЦ-22), нитратно-кальциевый (воздействие автотранспорта близ Новоухтомского ш. на юге и ш. Энтузиастов на севере округа) и хлоридно-натриевый классы (вблизи практически всех автодорог).

Интегральным показателем атмогеохимического техногенного воздействия является сульфатно-хлоридный коэффициент $K_{SO_4^{2-}/Cl^-}$, представляющий собой отношение SO_4^{2-}/Cl^- в снеговой воде города относительно фона. При его значениях более

10 считается (по Н.Ф. Глазовскому), что территория испытывает сильное техногенное давление, в значительной степени связанное с эмиссией выбросов ТЭЦ. Проблемой коэффициента является его занижение в городах из-за относительного увеличения содержания хлоридов, применяемых в качестве антигололедных средств: в южной части ВАО $K_{SO_4^{2-}/Cl^-}$ варьирует от 0,1 в снеге автомагистралей до 1,7 в жилой застройке южной части округа.

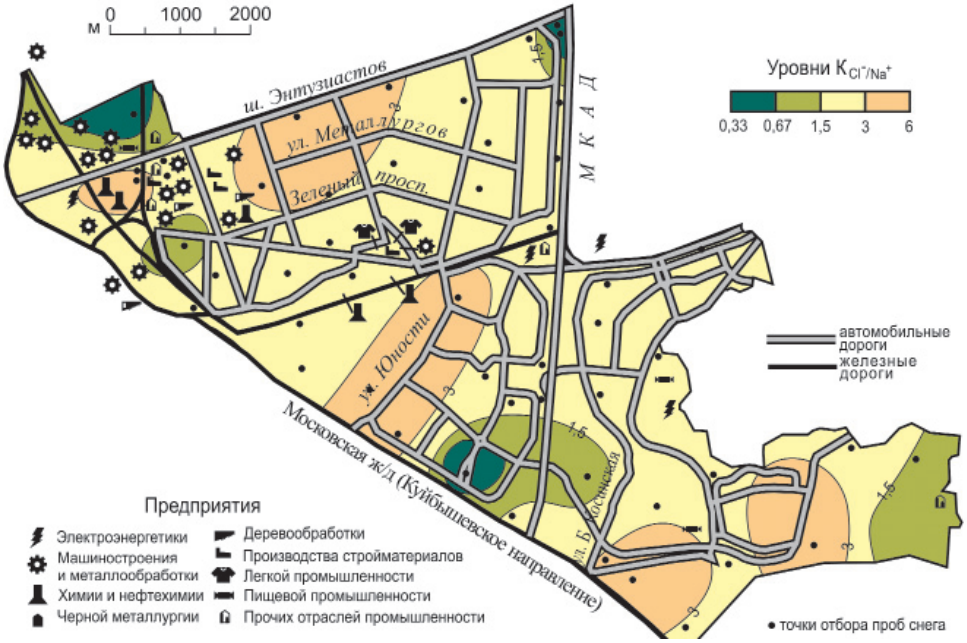


Рис. 1. Изменение отношения хлоридов к натрию на территории ВАО относительно фона

Для выявления степени трансформации состава снеговых вод можно использовать также $K_{SO_4^{2-}/Na^+}$ и K_{Cl^-/Na^+}. Показатель $K_{SO_4^{2-}/Na^+}$ на территории ВАО изменяется слабо и колеблется около 1, а K_{Cl^-/Na^+} – от 0,4 до 5,4 (рис. 1). Сильная дифференциация K_{Cl^-/Na^+} показывает неоднородность использования и различный состав антигололедных средств, применяемых на территории округа – NaCl, $CaCl_2$, KCl, $MgCl_2$, $AlCl_3$, CH_3COONa, HCOONa и др. [6].

Пылевая составляющая снежного покрова округа по сравнению с фоном обогащена (КО > 2) Mo, Ag, Sb, W, As, Sn. Наибольшие выпадения ТМ характерны для автомагистралей и промышленных зон, в составе которых преобладают Mo, W, Sb, As и Ag [3]. В среднем для ВАО суммарные выпадения ТМ (показатель Z_d) равны 296, что соответствует слабому загрязнению с неопасной экологической ситуацией. Среднее загрязнение с умеренно-опасной экологической ситуацией (1800 > Z_d > 1000) характерно для северо-западной части территории и сформировано в основном выбросами автотранспорта и промышленных объектов [3].

Эколого-геохимическое районирование ВАО по снежному покрову позволило выделить 13 районов, различающихся по минерализации (ультрапресные, пресные), pH (кислые, нейтральные, щелочные), макросоставу (сульфатно-кальциевые, хлоридно-кальциевые, хлоридно-натриевые) снеговых вод, составу снеговой пыли и уровням эмиссии ТМ (рис. 2, таблица).

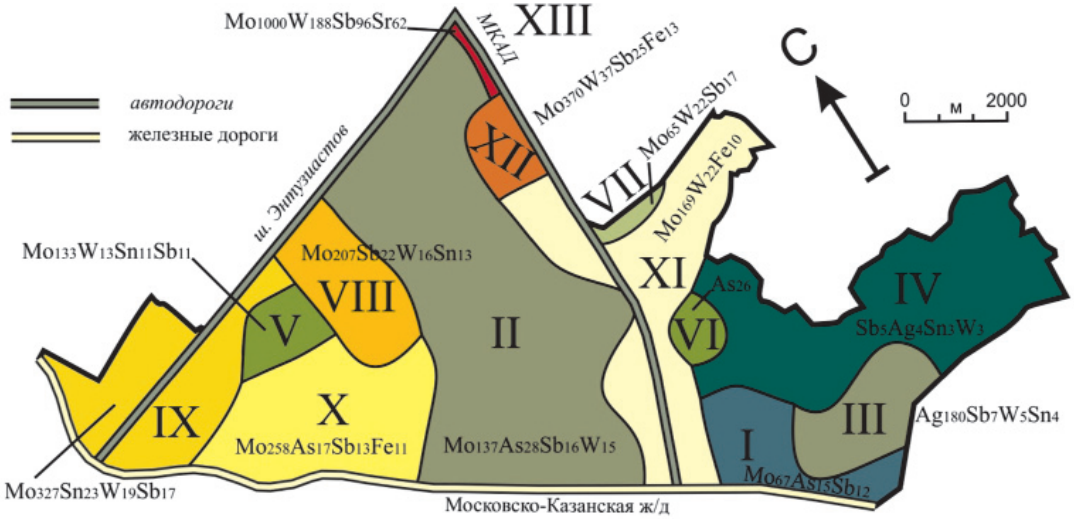
Наибольшую распространенность получили ультрапресные кислые и нейтральные хлоридно-кальциевые снеговые воды. Имиссия ТМ на большей части территории слабая и очень слабая. Наиболее интенсивная эмиссия в большинстве выделенных районов установлена для Mo, в III и IV районах на юго-востоке округа – для Sb. Кроме нее вклад в суммарные выпадения велик для As (I, II, VI, X районы), W (V, VII, XI, XIII районы), Sn (IX район) и Sb (VIII район). Велика эмиссия Fe близ основного места концентрирования предприятий машиностроения и металлообработки (район X), а также вдоль МКАД (районы XI, XII и XIII).

В районах III и IV наибольшие выпадения характерны для Sb, в VI – для As (во всех районах снеговые воды ультрапресные хлоридно-кальциевые с различными градациями pH). Наименее загрязнен металлами (наименьшие Z_c и Z_d) юго-восток округа, где преобладают ультрапресные щелочные хлоридно-кальциевые снеговые воды (IV район).

Результаты эколого-геохимического районирования южной части ВАО по физико-химическим свойствам снеговых вод и суммарной эмиссии химических элементов

Район	Характеристика района	Состав пыли и эмиссия элементов*
I	Ультрапресные (< 200 мг/л) кислые (pH = 4,5–5,5) сульфатно-кальциевые снеговые воды, очень слабая (< 250) суммарная эмиссия ТМ	$\frac{117 - Mo_{67}As_{15}Sb_{12}}{71 - Mo_{27}Ag_{20}Sb_8As_7Sn_4W_4}$
II	Ультрапресные кислые (5,5–6,5) хлоридно-кальциевые, местами сульфатно-кальциевые воды, очень слабая эмиссия ТМ	$\frac{246 - Mo_{137}As_{28}Sb_{16}W_{15}}{58 - Mo_{33}As_6Sb_5W_5Sn_4}$
III		$\frac{205 - Ag_{180}Sb_7W_5Sn_4}{131 - Ag_{107}Sb_6W_4}$
IV	Ультрапресные нейтральные (6,5–7,5) хлоридно-кальциевые, местами хлоридно-калиевые воды, очень слабая эмиссия ТМ	$\frac{21 - Sb_5Ag_4Sn_3W_3}{15 - Sb_4Sn_3}$
V	Ультрапресные щелочные (7,5–8,0) хлоридно-кальциевые воды, очень слабая эмиссия ТМ	$\frac{223 - Mo_{133}W_{13}Sn_{11}Sb_{11}}{70 - Mo_{42}W_5Sn_5Ag_4Sb_4As_4Ni_3}$
VI		$\frac{33 - As_{26}}{67 - As_{46}W_5Sb_5Sn_4Cu_3}$
VII	Пресные (200–305 мг/л) кислые (pH = 5,5–6,5) хлоридно-натриевые воды, очень слабая эмиссия ТМ	$\frac{169 - Mo_{65}W_{22}Sb_{17}}{23 - Mo_{12}W_5Sb_4}$
VIII	Ультрапресные кислые (4,5–5,5) хлоридно-кальциевые, местами хлоридно-калиевые воды, слабая (250–500) эмиссия ТМ	$\frac{311 - Mo_{207}Sb_{22}W_{16}Sn_{13}}{68 - Mo_{47}Sb_7W_5Sn_5}$
IX	Ультрапресные кислые (5,5-6,5) хлоридно-кальциевые воды, слабая эмиссия ТМ	$\frac{472 - Mo_{327}Sn_{23}W_{19}Sb_{17}Cr_{11}Ni_{10}}{64 - Mo_{47}Sn_5W_4Sb_3}$
X	Ультрапресные нейтральные (6,5–7,5) сульфатно-кальциевые воды, слабая эмиссия ТМ	$\frac{355 - Mo_{258}As_{17}Sb_{13}Fe_{11}W_{10}}{76 - Mo_{53}As_6Sb_4W_4Fe_3Sn_3}$
XI	Ультрапресные нейтральные (6,5–7,5) хлоридно-кальциевые воды, слабая эмиссия ТМ	$\frac{274 - Mo_{169}W_{22}Fe_{10}}{42 - Mo_{26}W_5Sb_4}$
XII	Ультрапресные кислые (5,5–6,5) хлоридно-кальциевые воды, средне-слабая (500–1000) эмиссия ТМ	$\frac{541 - Mo_{370}W_{37}Sb_{25}Fe_{13}V_{13}Sr_{13}Sn_{13}As_{11}Mn_{10}}{60 - Mo_{43}W_6Sb_4}$
XIII	Ультрапресные кислые (5,5–6,5) хлоридно-натриевые снеговые воды, средняя (1000–1800) эмиссия ТМ	$\frac{1758 - Mo_{1000}W_{188}Sb_{96}Sr_{62}As_{50}Fe_{50}Mn_{44}Sn_{44}}{40 - Mo_{28}W_6}$ $\frac{Co_{40}V_{39}Ti_{32}Cr_{31}Zn_{23}Ni_{21}Bi_{15}Be_{14}Cd_{12}Cu_{12}}{40 - Mo_{28}W_6}$

Примечание. *В числителе: цифра – величина Z_d, символы – элементы с максимальными K_d, индекс – величина K_d; в знаменателе: цифра – величина Z_c, символы – элементы с максимальными K_c, индекс – величина K_c



Свойства вод / Имиссия элементов		Ультрапресные (< 200 мг/л)							Пресные (200-305 мг/л)
		Кислые				Нейтральные		Щелочные	Кислые
		4,5-5,5		5,5-6,5		6,5-7,5		7,5-8,0	5,5-6,5
		SO_4-Ca	Cl-Ca	Cl-Ca	Cl-Na	SO_4-Ca	Cl-Ca	Cl-Ca	Cl-Na
Zd	< 250	I		II,III			IV	V,VI	VII
	250-500		VIII	IX		X	XI		
	500-1000			XII					
	1000-1800				XIII				

Рис. 2. Эколого-геохимическое районирование ВАО по физико-химическим свойствам снеговых вод и суммарной эмиссии ТМ. Символы элементов – 4 элемента с наибольшими выпадениями, индекс – величина эмиссии. Описание выделенных районов приведено в таблице

Наиболее загрязнен ТМ XIII район, расположенный на пересечении МКАД и ш. Энтузиастов. Величина pH в нем слабо отличается от фонового, но сильная трансформация выразилась в других физико-химических свойствах – общей минерализации (пресные воды) и макросоставе (хлоридно-натриевые). Поэтому для выделения зон техногенной трансформации снежного покрова необходимо использовать не только pH и величину эмиссии поллютантов, но и весь комплекс других параметров – общую минерализацию, состав снеговых вод, соотношение макрокомпонентов снеговой воды и микрокомпонентов снеговой пыли.

Выводы

Эколого-геохимическое районирование южной части ВАО по снежному покрову позволило выделить 13 районов, различающихся по минерализации, pH, составу снеговых вод, составу снеговой пыли и уровням эмиссии поллютантов. Наибольшую распространенность получили ультрапресные кислые и нейтральные хлоридно-кальциевые снеговые воды. Имиссия ТМ на большей части округа слабая и очень слабая. Наиболее интенсивная эмиссия в большинстве выделенных районов установлена для Mo, Sb, As, W и Sn. Пространственное распределение значений коэффициента показало неоднородность использования и различный химический состав антигололедных средств, применяемых на территории округа.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 8673, при финансовой поддержке Русского географического общества, договор № 05/2013-П1 (Интегральная оценка экологического состояния регионов и городов России) и Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 13-05-4119 (Интегральная оценка и картографирование качества городской среды на основе анализа ландшафтно-геохимических данных).

Список литературы

1. Битюкова В.Р., Касимов Н.С., Власов Д.В. Экологический портрет российских городов // Экология и промышленность России. – 2011. – № 4. – С. 6–18.

2. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

3. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы / Н.С. Касимов, Н.Е. Кошелева, Д.В. Власов, Е.В. Терская // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. – 2012. – № 4. – С. 14–24.

4. Моисеенков О.В. Эколого-геохимический анализ промышленного города (на примере г. Тольятти): дис. ... канд. геогр. наук. – М., 1989. – 243 с.

5. Никифорова Е.М., Лазукова Г.Г. Москва. Перовский район. Равнинные ландшафты // Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н.С. Касимова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. – С. 57–90.

6. Систер В.Г., Корецкий В.Е. Инженерно-экологическая защита водной системы северного мегаполиса в зимний период. – М.: ЦентрМГУИЭ, 2004. – 159 с.

7. Соколов Л.С., Астрахан Е.Д. Загрязнение территории Москвы металлами // Природа. – 1993. – № 7. – С. 68–73.

8. Экологический атлас Москвы. – М.: Изд-во «АБФ/ABF», 2000. – 96 с.

9. Bacardit M., Camarero L. Atmospherically deposited major and trace elements in the winter snowpack along a gradient of altitude in the Central Pyrenees: The seasonal record of long-range fluxes over SW Europe // Atmospheric Environment. – 2010. – № 44. – P. 582–595.

10. World Urbanization Prospects. The 2011 Revision [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://esa.un.org/unpd/wup/ (дата обращения 14.09.2013).

References

1. Bitjukova V.R., Kasimov N.S., Vlasov D.V. *Jekologija i promyshlennost' Rossii*, 2011, no. 4, pp. 6–18.

2. Geohimija okruzhajushhej sredy / Saet Ju.E., Revich B.A., Janin E.P. i dr. M.: Nedra, 1990. 335 p.

3. Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Terskaja E.V. *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5, geogr.*, 2012, no. 4, pp. 14–24.

4. Moiseenkov O.V. Jekologo-geohimicheskij analiz promyshlennogo goroda (na primere g. Tol'jatti): dis... kand. geogr. nauk. M., 1989. 243 p.

5. Nikiforova E.M., Lazukova G.G. Moskva. Perovskij rajon. Ravninnye landshafty. In: Jeko-geohimija gorodskih landshaftov. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1995. pp. 57–90.

6. Sister V.G., Koreckij V.E. Inzhenerno-jekologicheskaja zashhita vodnoj sistemy severnogo megapolisa v zimnij period. M.: CentrMGUIJe, 2004. 159 p.

7. Sokolov L.S., Astrahan E.D. *Priroda*, 1993, no. 7, pp. 68–73.

8. Jekologicheskij atlas Moskvy. M.: Izd-vo «ABF/ABF», 2000. 96 p.

9. Bacardit M., Camarero L. *Atmospheric Environment*, 2010, no. 44, pp. 582–595.

10. World Urbanization Prospects (2011), available at: http://esa.un.org/unpd/wup/ (accessed 14 September 2013).

Рецензенты:

Кошелева Н.Е., д.г.н., ведущий научный сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв, географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва;

Новаковский Б.А., д.г.н., профессор кафедры картографии и геоинформатики, географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 09.10.2013.