



© A.M. Gareev, E.M. Galeeva, D.S. Teplova

SPATIOTEMPORAL VARIABILITIES OF ENVIRONMENTAL POLLUTION UNDER THE IMPACT OF URBAN AGGLOMERATIONS: A CASE STUDY OF THE UFA INDUSTRIAL HUB

Bashkir State University,
32, ulitsa Zaki Validi,
450076, Ufa, Russian Federation,
e-mail: hydroeco@mail.ru;
d.teplova@yandex.ru

The article describes major factors that influence the atmospheric distribution of pollutants. Consideration is given to specific characteristics of the city of Ufa according to the location pattern of contamination sources as well as its geochemical peculiarities. Local features of natural conditions are given regarding the formation of geochemical anomalies. These include the unique topography and elongated shape of the city responsible for redistribution of prevailing winds and pollutant concentrations. The article also presents a brief analysis of spatiotemporal variabilities of the air pollution potential as an indicator defining the ability of the atmosphere to scatter harmful emissions. It provides an isoline map of the air pollution potential for the city of Ufa and its vicinity. Areas are identified with the highest indicator values, and it is shown that the extent of the effect exerted by the a distribution of pollutants in air and snow cover on weather conditions differs seasonally. Analysis is performed concerning the structure of snow cover pollution as an indicator of the atmospheric state according to the total pollution index and also the size and contours of geochemical anomalies. Also, the soil pollution structure is analyzed as an indicator of the long-term effects of the emissions on the environment using the total pollution index. It is found that heavy metals are the most dangerous among the pollutants. The typomorphic association of chemical elements due to the industrial specialization is identified for the city of Ufa. The relationship between meteorological conditions and underlying surface contamination of the deposit environments is revealed. Among the factors unfavourable for the pollutant dispersion, surface and elevated inversions play the most important role. These characteristics are included in calculations of the air pollution potential (APP) given in the article. The results obtained in this research are of great practical importance, first of all, in substantiating the prospective directions for the development of the urban agglomeration.

Key words: air pollution potential, meteorological factors, spatiotemporal variability, geochemical anomalies

Наибольший вклад в ухудшение состояния окружающей среды, как на локальном, так и на региональном, глобальном масштабах вносят промышленные предприятия, расположенные в пределах промышленных узлов и городских агломераций. Известно, что характер рассеивания загрязняющих ве-

ществ (ЗВ) в атмосферном воздухе, их оседание и накопление в компонентах природной среды (в снежном, почвенном покровах, поверхностных, подземных водных объектах и др.) зависит от метеорологических факторов, характерных для каждой конкретной территории, а также характера преобладающего

где K_c – коэффициенты загрязнения i -го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением, n – число элементов с превышением коэффициента загрязнения выше 1.

В качестве базового показателя было использовано значение ПДК в водах водных объектов рыбохозяйственного значения, поскольку оно обуславливает влияние на живые организмы при аккумулятивном эффекте загрязняющих веществ. Для почвенного покрова использованы ПДК валового содержания загрязняющих веществ.

Результаты и их обсуждение. Усиление концентрации загрязняющих веществ также отмечается при устойчивой стратификации, наличии приземных и низко расположенных приподнятых инверсий и при скорости ветра от 4 до 7 м/с, когда наблюдается поступление к земной поверхности выбросов от высоких источников. В то же время, при устойчивой стратификации загрязнение воздуха уменьшается с усилением ветра [4; с. 69].

Для расчета ПЗА, как было отмечено выше, нами использован ряд данных по конкретным метеорологическим характеристикам, влияющим на степень рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, представленный в табл. 1.

В условиях г. Уфы высока повторяемость приземных инверсий (до 59%), слабых ветров и застоев воздуха – до 38%, количество дней с осадками может снижаться до 50%. Повторяемость ветров со скоростью 0–1 м/с без приземных инверсий достигает 14%, однако, в целом, штили наблюдаются с повторяемостью 10–20%. Основным фактором, способствующим появлению застоев воздуха, являются приземные инверсии [5; с. 9]. Количество приподнятых инверсий в году составляет до 56%, большее количество наблюдается в летний период – до 87%. Повторяемость туманов невелика – до 4%. По сезонам года процентная повторяемость данных явлений может быть значительно выше.

На уровне картографического анализа материалов расчетов (рис. 1), следует отметить, что практически вся территория г. Уфы имеет высокие значения указанного показателя (более 3,5). Кроме того, в пределах г. Уфа и ближайших территорий отсутствуют зоны не только с низким, но даже умеренным показателем (менее 2). Почти половина площади занята зоной с показателем более 4,0 (очень высокий).

В Уфе эти аномально теплые районы расположены практически полностью внутри зон с показателем ПЗА более 4. Это является условием, способствующим росту концентраций загрязняющих веществ.

ТАБЛИЦА 1 – Средние многолетние неблагоприятные для рассеивания загрязняющих веществ метеопараметры г. Уфа (по материалам БашУГМС)

Месяцы	Повторяемость, %					
	осадков	приземных инверсий температуры	застоев воздуха	ветров со скоростью 0–1 м/с	приподнятых инверсий температуры	туманов
I	84	56	28	16	19	3
II	63	51	25	14	25	3
III	57	54	15	11	58	7
IV	47	24	13	14	53	3
V	54	14	23	10	67	1
VI	53	11	29	15	77	3
VII	50	13	36	16	81	3
VIII	57	16	32	21	81	3
IX	57	27	30	13	80	3
X	67	47	11	14	45	3
XI	77	59	5	12	37	3
XII	83	55	19	14	73	7
Год	61	36	24	14	56	4

На основании анализа картографических материалов можно выделить, что практически вся территория города и близлежащих пригородных территорий имеет значение суммарного коэффициента загрязнения ($Z_{\text{сумм}}$) от 16 до 24 (рис. 2). Очевидно, что для города Уфы такой показатель будет являться обычным городским уровнем загрязнения, и в ряде работ такие значения рекомендовано относить к низкому уровню загрязнения [8; с. 347].

На фоне общего значения $Z_{\text{сумм}}$ от 16 до 24 выделяются зоны загрязнения с повышен-

ным значением (до 32). В основном, они расположены в северной части города, приурочены к крупным промышленным объектам, имеют суммарные размеры ближней и дальней зон загрязнения от 0,5 км (предприятия машиностроения) до 2–3 км (предприятия химической и нефтехимической промышленности). Контуры этих аномалий слегка вытянуты в меридиональном направлении из-за специфики рельефа и направлений господствующих ветров [9; с. 282].

Следует обратить внимание на то, что степень зависимости загрязнения воздуха от

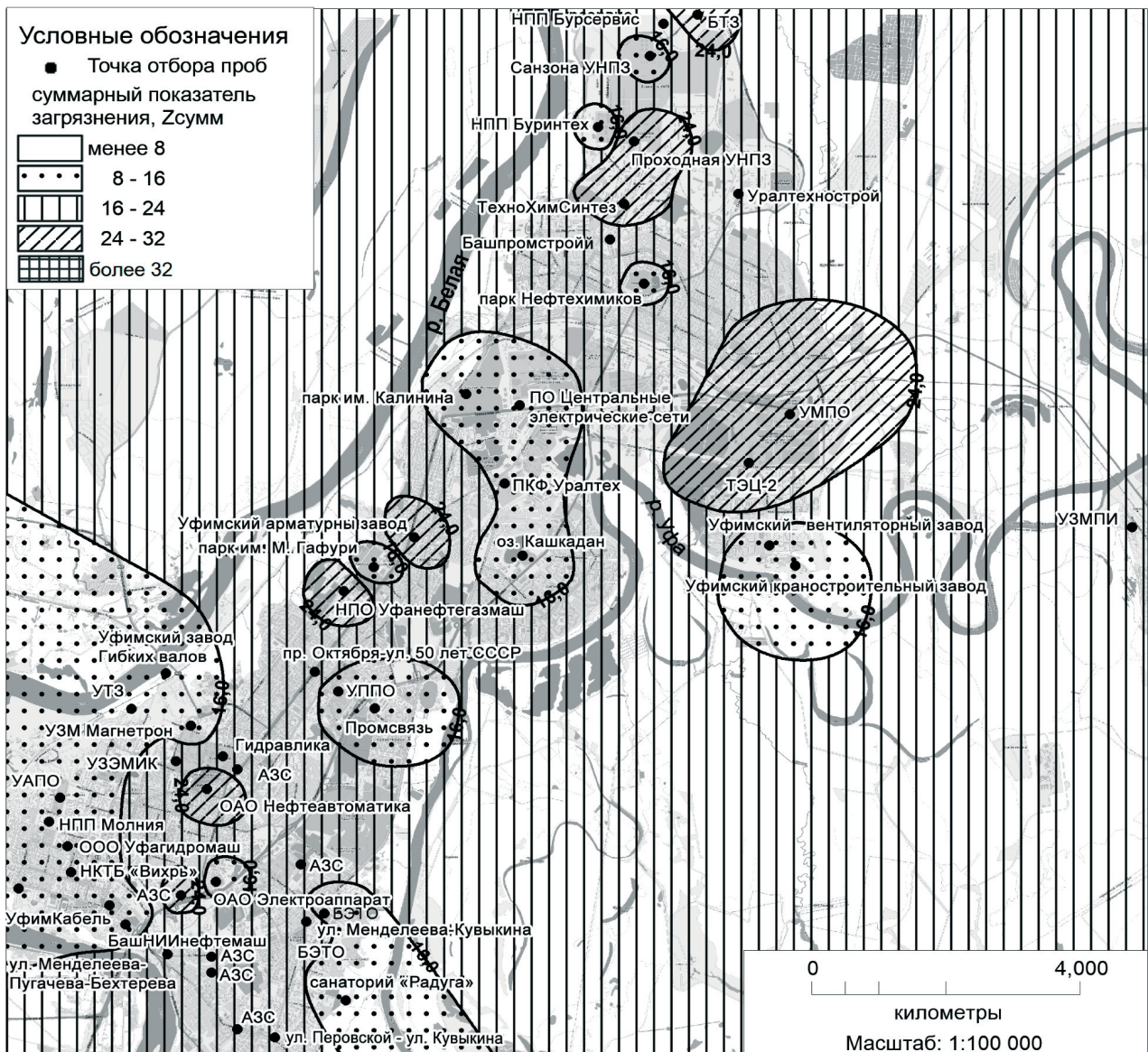


Рис. 2. Распределение $Z_{\text{сумм}}$ в снежном покрове г. Уфы (составлена по фоновым материалам кафедры гидрологии и геоэкологии БашГУ)

направления ветра и других факторов неодинакова, а иногда вообще не проявляется [1; 4]. Часть таких ЗВ рассеивается в атмосфере и создает общий городской уровень загрязнения атмосферы и выпадений из нее на снежный покров [5; с. 12].

Анализ распределения показателей суммарного загрязнения почв производился за 2010 год (рис. 3).

Как известно, указанный год характеризовался наиболее продолжительными антициклональными типами погоды, а также инверсиями и застоями воздуха. Поэтому

рассеивающая способность атмосферы была снижена, влияние ЗВ на почвенный и снежный покровы путем осаждения из атмосферного воздуха наибольшие.

Как показано в нормативных документах [10; с. 4], в почвенном покрове, для допустимой категории загрязнения среднее превышение ПДК должно составлять менее 1.

Однако при расчетах наблюдались превышения ЗПДК по свинцу, 2ПДК по меди, 1,5ПДК по цинку и никелю, более 1ПДК по ртути. С учетом их кумулятивной способности влияния почвенный покров г. Уфы

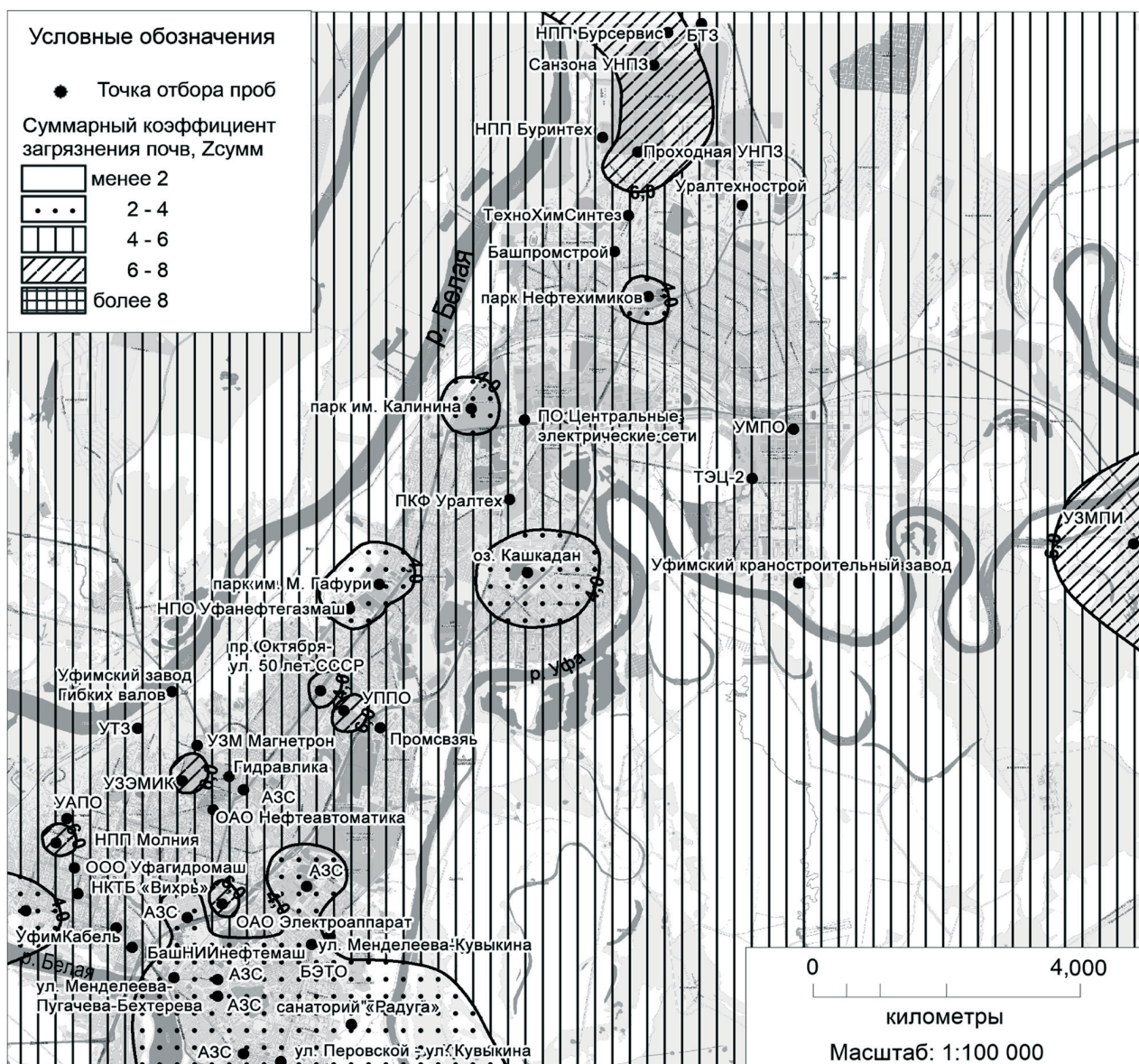


Рис. 3. Распределение $Z_{сумм}$ в почвенном покрове г. Уфы (составлена по фондовым материалам кафедры гидрологии и геоэкологии БашГУ)

следует отнести к более высокой категории загрязнения (слабо опасная, умеренно опасная), поскольку воздействие промышленных предприятий на почвенный покров г. Уфы продолжительное (более 50 лет), почвы подвержены деградации и нагрузке вследствие воздействия различных загрязнителей.

На уровне анализа материалов, отражающих зоны загрязнения (рис. 3), отметим некоторые особенности. Вся территория города и прилегающие районы изучаемой территории относятся к зоне 4–6, что не превышает допустимого загрязнения почв. Максимального значения суммарный показатель загрязнения достигает в точке отбора проб на территории УНПЗ (7,73). Данная аномалия имеет вытянутую с севера на юг форму и охватывает всю промышленную зону г. Уфы. Также выделяется аномалия в районе Шакша, что обусловлено близким расположением источников загрязнения и в большей степени переносом ЗВ под влиянием преобладающих ветров в этом направлении. Вокруг промышленных объектов, расположенных внутри городской застройки, аномалии на порядок ниже, а также малы по размерам, строго приурочены к основным источникам выбросов. Отмечается нарушение структуры зон загрязнения, которые располагаются в непосредственной близости друг от друга и не имеют буферных зон с постепенным уменьшением накопления ЗВ.

В целом, в зависимости от изменчивости ветров происходит формирование геохимического фона – увеличение концентраций ЗВ на север и северо-восток города, где расположена нефтехимическая промышленная зона Уфы. На сложную структуру распределения суммарного коэффициента загрязнения оказывает транспортная инфраструктура, перераспределяя основные потоки ЗВ и изменяя формы и размеры геохимических аномалий.

Наибольший вклад в формирование суммарного показателя загрязнения вносят валовые формы свинца и меди, источниками

которых являются предприятия нефтехимии и теплоэнергетики, предприятия машиностроения, приборостроения, а также автотранспорт. Данные металлы содержатся в основном обрабатываемом сырье промышленности.

В целом следует отметить то, что большинство почв города относятся к категории «запечатанных», «закрытых», что влияет на аэрацию почв, на водный режим и миграцию химических элементов почве. ЗВ смыываются со стоком ливневых вод и талых вод. В свою очередь, конечные звенья стока – подземные и поверхностные водные объекты являются источниками питьевого водоснабжения и причиной серьезных заболеваний живых организмов [11; с. 157].

Таким образом, в результате продолжительных выбросов промышленными предприятиями и автомобильным транспортом ЗВ происходит постоянная пылевая нагрузка на атмосферный воздух при повторяющихся метеорологических условиях, способствующих скоплению ЗВ в воздухе. Наблюдается загрязнение снежного покрова в холодный период, постоянное накопление ЗВ в почвенном покрове с последующим выносом поллютантов в водные объекты города – рр. Шугуровка, Сутолока, Уфа, Белая и Дема, загрязняя их не только тяжелыми металлами, но и сложными веществами, усиливая общий (комплексный) показатель загрязнения воды в водных объектах.

Заключение.

Основные выводы:

1. Наибольшее загрязнение атмосферного воздуха, снежного и почвенного покрова г. Уфы характерно для зон размещения нефтяной и нефтехимической отрасли и сопредельных территорий.

2. В пределах селитебной территории загрязнение несущественно, поэтому возможно эксплуатация объектов гражданского, лесопаркового хозяйства без экологических и экономических последствий.

Показатели ПЗА в пределах города (среднегодовые и по сезонам), отражают слабую рассеивающую способность атмосферы от выбросов. Сопоставление картосхем, отражающих распределение ПЗА картосхемами загрязнения снежного покрова выявило совпадение ореолов с повышенным содержанием тяжелых металлов в снежном покрове с областями значений ПЗА от 3,5 и выше. В почвенном покрове таких чётких зависимостей не наблюдается, поскольку поступление ЗВ в почвы более сложный и многофакторный процесс, чем в снежный покров. Выполненные расчеты свидетельствуют о большой роли природных, в частности, ме-

теорологических факторов в формировании пространственной структуры загрязнения окружающей среды. Это проявляется в перераспределении концентраций загрязняющих веществ в воздушном бассейне, в результате чего анализ их выпадений на снежный и почвенный покров дает неожиданные результаты – смещение в ряде случаев максимальных концентраций загрязняющих веществ от источников загрязнения во внутренние районы города с максимальным ПЗА. Такие отклонения наблюдаются во многих промышленных городах, где развита местная циркуляция воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теплова Д.С. Влияние природных факторов на формирование пространственной структуры загрязнения снежного покрова г. Уфы // *Ландшафтно-экологическое состояние регионов России: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж: Истоки, 2015. С. 195–198.*
2. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. *Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.*
3. Безуглая Э.Ю., Берлянд М.Е. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 328 с.
4. Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 223 с.
5. Галеева Э.М., Теплова Д.С. Загрязнение атмосферного воздуха городских агломераций и влияющие неблагоприятные метеорологические условия (на примере г. Уфы) // *Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2016. № 1. С. 7–14.*
6. Аналитический обзор «Качество воздуха в крупнейших городах России за десять лет 1998-2007 гг.». Санкт-Петербург: ГГО им. А.И. Воейкова, 2009. 133 с.
7. Гареев А.М. Оптимизация водоохранных мероприятий в бассейне реки (географо-экологический аспект). СПб: Гидрометеиздат, 1995. 190 с.
8. Перельман А.И., Касимов Н.С. *Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.*
9. Галеева Э.М. Загрязнение снежного покрова г. Уфы как фактор изменения геохимического облика водных систем // *Региональные проблемы водопользования в изменяющихся климатических условиях: материалы междунар. науч.-практ. конф. Уфа: Аэтерна, 2014. С. 280–284.*
10. Методические рекомендации по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. М.: Минздрав СССР ИМГРЭ, 1987. 25 с.
11. Гареев А.М. Реки, озера и болотные комплексы республики Башкортостан. Уфа. Гилем, 2012. 264 с.

REFERENCES

1. Teplova D.S. Vliyanie prirodnykh faktorov na formirovanie prostranstvennoy struktury zagryazneniya snezhnogo pokrova g. Ufy [The influence of natural factors on the formation of the spatial structure of snow cover pollution in the city of Ufa]. *Landschaftno-ekologicheskoe sostoyanie regionov Rossii* [Landscape-ecological status of the Russian regions]. Proceedings of the Russian Science & Research Conference. Voronezh, Istoki, 2015, pp. 195–198. (In Russian).
2. Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* [Environmental geochemistry]. Moscow, Nedra, 1990, 335 p. (In Russian).

3. Bezuglaya E.Yu., Berlyand M.E. Klimaticheskie kharakteristiki usloviy rasprostraneniya primesey v atmosphere [Climatic characteristics of the conditions for the distribution of contaminants in the atmosphere]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1983, 328 p. (In Russian).
4. Sonkin L.R. Sinoptiko-statisticheskii analiz i kratkosrochnyy prognos zagryazneniya atmosfery [Synoptic and statistical analysis and short-term forecasting of air pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1991, 223 p. (In Russian).
5. Galeeva E.M., Teplova D.S. Zagryaznenie atmosfernogo vozdukha gorodskikh aglomeratsiy i vliyayushchie neblagopriyatnye meteorologicheskie usloviya (na primere g. Ufy) [Air pollution in urban agglomerations and affecting meteorological conditions (with Ufa taken as an example)]. Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. «Biologiya. Nauki o Zemle» – Bulletin of the Udmurt University. Ser. Biology. Earth Sciences, 2016, vol. 1, pp. 7–14. (In Russian).
6. Analiticheskiy obzor «Kachestvo vozdukha v krupneyshikh gorodakh Rossii za desyat let 1998–2007 gg.» [Analytical review «Air Quality in the largest cities of Russia over ten years 1998–2007»]. St. Peterburg, Glavnaya geofizicheskaya observatoriya im. A.A. Voyeykova, 2009, 133 p. (In Russian).
7. Gareev A.M. Optimizatsiya vodookhrannykh meropriyatiy v bassejne reki (geografo-ekologicheskiy aspekt) [Optimization of water protection measures in the river basin (geographical and ecological aspects)]. St. Peterburg, Gidrometeoizdat, 1995, 190 p. (In Russian).
8. Perelman A.I., Kasimov N.S. Geokhimiya landshafta [Landscape geochemistry]. Moscow, Astreya–2000, 1999, 610 p. (In Russian).
9. Galeeva E.M. Zagryaznenie snezhnogo pokrova g. Ufy kak faktor izmeneniya geokhimicheskogo oblika vodnykh sistem [The snow cover pollution in Ufa as a factor of changing geochemical status of the aquatic systems]. Regionalnye problemy vodopolzovaniya v izmenyayushchikhsya klimaticheskikh usloviyakh [Regional problems of water management under changing climatic conditions]. Proceedings of the International Science & Research Conference. Ufa, Aeterna, 2014, pp. 280–284. (In Russian).
10. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke stepeni opasnosti zagryazneniya pochvy khimicheskimi veshchestvami [Methodical recommendations for assessing the degree of danger of soil contamination by chemicals]. Moscow, Minzdrav SSSR IMGRE, 1987, 25 p. (In Russian).
11. Gareev A.M. Reki, ozera i bolotnye komplekсы respubliky Bashkortostan [Rivers, lakes and bog complexes of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Gilem, 2012, 264 p. (In Russian).