

Экологические проблемы и природопользование

УДК 502.55

Э.М. Галеева, Д.С. Теплова

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ И ВЛИЯЮЩИЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ (НА ПРИМЕРЕ Г. УФЫ)

Рассматриваются основные факторы распределения загрязняющих веществ в атмосфере. Отмечены специфика города Уфы по структуре расположения источников загрязнения и его геохимические особенности. Перечислены местные особенности природных условий формирования геохимических аномалий. К ним относятся своеобразие рельефа и вытянутая форма города, что обуславливает перераспределение преобладающих направлений ветра и концентраций загрязняющих веществ. Приводятся расчеты, краткий анализ пространственно-временной изменчивости потенциала загрязнения атмосферы как показателя, определяющего рассеивающую способность атмосферы от вредных выбросов. Дана картосхема изолиний потенциала загрязнения атмосферы для города Уфы. Выявлены районы с максимальными значениями этого показателя, показано, что степень связи распространения загрязняющих веществ в атмосфере и снежном покрове с метеоусловиями различна по сезонам года. Проанализированы структура загрязнения снежного покрова, как индикатора состояния атмосферы по суммарному показателю загрязнения, размеры и контуры геохимических аномалий.

Ключевые слова: потенциал загрязнения атмосферы, метеорологические факторы, пространственно-временная изменчивость, геохимические аномалии.

Необходимым элементом мониторинга состояния атмосферного воздуха в городах является анализ распространения потоков загрязнения. Концентрация поля загрязнения в атмосфере зависит от большого количества факторов. Основными составляющими при анализе и прогнозе распределения пространственной структуры распределения загрязнения депонирующих и транспортирующих сред являются перечисленные ниже факторы.

1. Характер и мощность источников, определяющие размеры зон загрязнения и контрастность аномалий, а также структура размещения промышленности в городе. В условиях города Уфы это означает более 60 стационарных источников загрязнения, большинство из них – предприятия нефтеперерабатывающей промышленности (48 %) и энергетики (21 %) с преобладанием низких выбросов. Несмотря на колебания объемов производства, растет объем валовых выбросов загрязняющих веществ за счет передвижных источников. Для г. Уфы характерны как зональная, так и порфировидная, вкрапленная структура размещения производства [1], что определяет крайне неблагоприятные условия для сохранения оптимального состояния атмосферы.

2. Природные факторы, из которых наиболее весомыми являются рельеф и метеорологические параметры в совокупности со специфическими местными особенностями. Для условий г. Уфы это означает наличие практически равнинного рельефа. В этом случае предполагается наличие концентрических ореолов загрязнения. Однако своеобразие мезорельефа города (наличие трех крупных рек (Белой, Уфы, Демы) и близкая к меридиональной ориентация их долин), а также вытянутая с северо-востока на юго-запад форма города создают преобладающие направления ветров вдоль большой (меридиональной) оси города [2]. Этому соответствует повышенное загрязнение воздуха вдоль этой оси за счет максимального наложения выбросов от многих источников.

При учете метеорологической группы природных факторов существенными являются не только направление и скорость ветров, но и стратификация атмосферы, застойные явления в атмосфере, наличие турбулентного воздухообмена, осадков, туманов, облаков. Следует учитывать синоптические условия и инерционный фактор [3]. Ниже нами дается характеристика пространственной и временной изменчивости метеорологического потенциала загрязнения атмосферы (далее ПЗА) как сочетания метеорологических факторов, обуславливающих уровень возможного загрязнения атмосферы.

Материалы и методы исследований

Были обработаны фондовые данные ФГБОУ «БашУГМС» о качественных характеристиках, определяющих уровень потенциала загрязнения атмосферы, выраженные через синоптические ситуации. В результате рассчитан ПЗА за период 1990–2014 гг. как в среднем за год, так и по сезонам. При этом была использована методика ГГО им. А.И. Воейкова. Пример расчета ПЗА для города, связанный с определенными метеорологическими параметрами, представлен в табл. 1. Значение ПЗА для города определено по номограмме Э.Ю. Безуглой, где по параметрам P_1 и P_2 определяется значение ПЗА. Для параметра P_1 использовалась сумма вероятностей приземных инверсий, слабых ветров и туманов; для P_2 – сумма вероятности застоев и туманов.

Таблица 1

Пример расчета ПЗА г. Уфа за 2014 г. (по данным БашУГМС)

Месяцы			Апрель	Май
Число дней с осадками			13(1)	9(2)
Часов с туманами $\underline{3}$			-	
Повторяемость	Приземных инверсий	03	2, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 26, 29, 30 18 сл. – 60 %	1, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 31 25 сл. – 81 %
		15	3, 4, 5, 9, 22, 23, 28, 29 8 сл. – 27 %	1, 2, 5, 7, 8, 10, 11, 14, 16, 20, 30 11 сл. – 35 %
		Ср.	26 сл. – 44 %	36 сл. – 58 %
	Приподнятых инверсий	03	2, 4, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 23, 28 11 сл. – 37 %	1, 5, 6, 12, 14, 16, 19, 26, 28, 29 10 сл. – 32 %
		15	1, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 22, 23, 24, 30 11 сл. – 37 %	3, 4, 5, 6, 9, 10, 13, 17, 20, 21, 22, 25, 29, 31 14 сл. – 45 %
		Ср.	22 сл. – 37 %	24 сл. – 39 %
	Застоев	03	6, 8, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 22, 30 10 сл. – 33 %	1, 5, 9, 10, 11, 13, 16, 21, 23, 26, 31 11 сл. – 37 %
		15	–	–
		Ср.	10 сл. – 17 %	11 сл. – 18 %
	Скорость ветра (0-1 м/с) независимо от инверсий	03	6, 8, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 22, 30 10 сл. – 33 %	1, 5, 9, 10, 11, 13, 16, 21, 23, 26, 27, 31 12 сл. – 39 %
		15	–	–
		Ср.	10 сл. – 17 %	12 сл. – 19 %
	Скорость ветра (0-1 м/с). Без приземных инверсий	03	–	27 1 сл. – 3 %
		15	–	–
		Ср.	–	1 сл. – 2 %
	$\underline{1+2+3}$	P_1	44	58
	$\underline{4+3}$	P_2	17	18
	$\underline{\text{ПЗА}}$		2,7	3,1

Далее с использованием ГИС MapInfo была построена картосхема изолиний ПЗА за 2014 год (при анализе необходимо иметь в виду определенный статистический характер данной картосхемы). Была построена и карта загрязнения снежного покрова по 6 тяжелым металлам (Pb, Cu, Zn, Ni, Mn, Hg). Картирование загрязнения снежного покрова проводилось по показателю:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1),$$

где K_c – коэффициенты загрязнения, n – число элементов с превышением коэффициента загрязнения выше 1 [1].

В качестве базового показателя было использовано значение ПДК в водных объектах рыбохозяйственного значения. В качестве объекта картирования выбран снежный покров с связи с высокой динамичностью воздушных потоков рассеяния и формирующихся в них аномалий. Кроме того, индикатором загрязнения атмосферного воздуха для целей геохимического картирования является именно снежный покров. При этом была использована ГИС MapInfo.

Результаты и их обсуждение

Имеются многочисленные указания на формирование повышенного загрязнения воздуха при устойчивой стратификации при наличии приземных и низкорасположенных приподнятых инверсий. Отмечается факт очищения атмосферы от примесей осадками. Однако вымывание происходит лишь в отдалении от источников загрязнения и формирует эффект общего регионального поля загрязнения в городе, поступая в снежный покров и почвы. Усиление концентрации загрязняющих веществ также отмечается и при скорости ветра от 4 до 7 м/с, при котором наблюдается поступление к земной поверхности выбросов от высоких источников. Но в общем при устойчивой стратификации загрязнение воздуха уменьшается с усилением ветра. При наличии туманов загрязняющие вещества остаются в приземном слое воздуха. Таким образом, туманы способствуют повышению загрязнения воздуха в городах.

Для расчета ПЗА, как было отмечено выше, требуется определенный ряд данных по конкретным метеорологическим характеристикам (табл. 1). Представление о повторяемости метеопараметров, влияющих на степень рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, дает табл. 2.

Таблица 2

Неблагоприятные для рассеивания загрязняющих веществ метеопараметры г. Уфы, 2011–2013 гг.

месяцы	2011 г.						2012 г.						2013 г.					
	о	п/з и	з	ш	п/п и	т	о	п/з и	з	ш	п/п и	т	о	п/з и	з	ш	п/п и	т
I	14	55	32	8	40	—	13	39	27	35	82	0,5	25	39	24	13	77	0,8
II	21	42	31	14	18	—	6	38	23	18	87	—	15	36	20	18	73	2,8
III	19	44	13	6	8	—	23	21	16	5	28	—	21	40	16	8	68	—
IV	18	38	10	8	2	0,3	12	18	10	17	37	0,1	16	38	20	13	52	0,3
V	15	42	23	13	6	0,4	11	32	18	21	47	—	10	55	29	10	38	—
VI	15	23	25	18	2	—	15	42	28	13	33	0,4	8	62	35	7	42	—
VII	10	49	44	8	3	0,3	7	50	34	16	29	—	16	42	31	18	29	0,1
VIII	7	42	31	13	2	—	15	44	27	20	26	—	9	55	39	6	35	—
IX	18	37	20	8	13	1,0	15	28	22	10	22	0,3	13	58	48	15	45	0,3
X	19	27	15	18	47	1,3	20	26	14	13	61	0,1	24	23	5	15	29	—
XI	25	27	7	9	25	0,6	24	3	2	18	70	—	16	25	7	12	73	0,6
XII	17	26	21	20	87	1,3	22	48	32	21	76	3,6	25	20	5	7	77	0,1
Год	198	38	23	12	—	0,4	183	32	21	17	50	0,7	198	41	23	12	53	0,4
Ср/м*	192	34	22	29	28	0,4												

Примечание. * Ср/м – средние многолетние значения параметров. Параметры: о – осадки, количество дней; п/з и – повторяемость приземных инверсий температуры, %; з – повторяемость застоев воздуха, %; ш – повторяемость ветров со скоростью 0–1 м/с, % (без приземных инверсий); п/п и – повторяемость приподнятых инверсий температуры, %; т – повторяемость туманов, %.

Очевидно, что даже в представленные в качестве примера сроки (2011–2013 гг.) высока повторяемость приземных инверсий (от 32 до 41 %), слабых ветров и застоев воздуха – до 38 %, количество дней с осадками может снижаться до 50 %. Приземные инверсии оказывают влияние на накопление выбросов в атмосферу от низких источников, так как инверсионный слой ограничивает подъем выбросов, способствует их опусканию и накоплению в приземном слое. Приземные инверсии возникают в ночные часы при тихой и ясной погоде в результате выхолаживания земной поверхности. Приподнятые инверсии возникают преимущественно в устойчивых антициклонах вследствие нисходящего движения воздуха и его нагревания. Повторяемость ветров со скоростью 0–1 м/с без приземных инверсий за рассматриваемый период достигает 35 %, но в целом штили наблюдаются с повторяемостью 10–

20 %. Основным фактором, способствующим появлению застоев воздуха, являются приземные инверсии. Количество приподнятых инверсий в году в рассматриваемый период – до 28 %, но при этом их большее количество наблюдается в зимний период – до 87 %. Повторяемость туманов невелика – до 3,6 %. Вообще, туманные явления способствуют накоплению загрязнений в воздухе: загрязняющие вещества осаждаются на поверхность капелек воды или кристалликов льда в туманном облаке, но степень влияния, по сравнению с другими неблагоприятными явлениями, незначительна. По сезонам года процентная повторяемость данных явлений может быть значительно выше. Так, штилевой максимум наиболее ярко выражен зимой, когда вследствие пониженного турбулентного обмена наблюдается рассеивание низких выбросов [3].

На рис. 1 представлена картосхема значений ПЗА. Очевидно, что практически вся территория г. Уфы имеет высокое значение ПЗА (более 3,5); более того, в пределах Уфы и ближайших пригородов не существует зоны не только с низким, но даже умеренным показателем ПЗА (менее 2). Почти половина площади занята зоной с показателем более 4,0 (очень высокий). В предыдущих работах нами была проанализирована картосхема расположения так называемых «островов тепла» (по сезонам), существующих в любом городе [4]. В Уфе эти аномально теплые районы расположены практически полностью внутри зон с показателем ПЗА более 4. Это является подтверждением того, что микроклиматические условия города, прежде всего повышенные температуры, способствуют росту концентраций загрязняющих веществ.

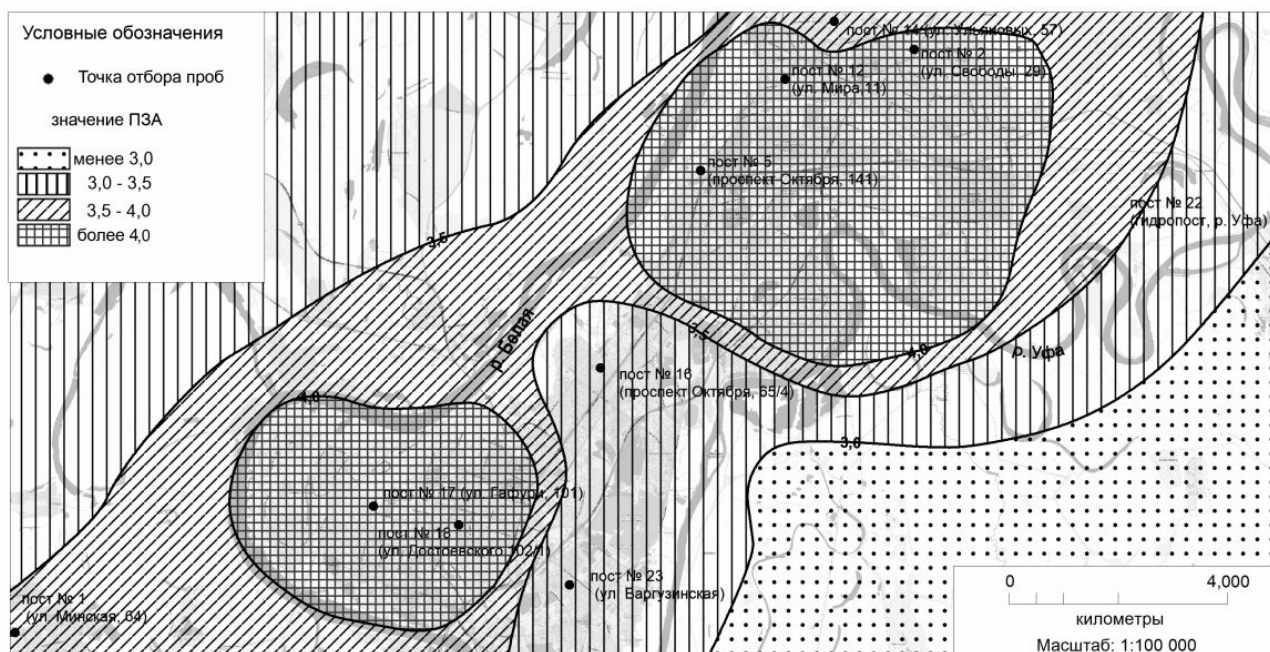


Рис. 1. Пространственное распределение среднегодовых значений ПЗА по территории г. Уфы (составлена по материалам БашУГМС)

Графические материалы о среднегодовых значениях ПЗА г. Уфы за ряд лет представлены на рис. 2. Значения ПЗА за этот период находится в пределах 2, 5–3, 5 (повышенные и высокие). Это свидетельствует о том, что значения ПЗА на рис. 1 не являются аномальными. Некоторый разброс значений определен климатическими особенностями того или иного сезона года. Самая высокая повторяемость приземных инверсий, по многолетним данным, приходится на июль, август – 80–90 %; самая низкая повторяемость приземных инверсий приходится на февраль и ноябрь – 7 %, то есть период активной циклонической деятельности в умеренных широтах. В повторяемости приподнятых инверсий наблюдается обратная картина. Их повторяемость возрастает до 50–80 % в период с октября по март. В летние месяцы их вероятность не превышает в среднем 20–30 %. В многолетнем ходе слабых ветров и застоев воздуха наблюдаются средние показатели повторяемости – 20–30 %, причем наибольшая повторяемость относится к летнему периоду и наименьшая – к зимнему, что объясняется преобладанием антициклонального типа погоды в теплый период. Повторяемость осадков как в летний, так и в зимний период может снижаться до 25 % при антициклональном типе погоды. В летний

период такие периоды сопровождаются засухами, значительными повышениями температуры воздуха. Не приводя подробных расчетов, отметим, что в большинстве случаев в самом теплом (июль) и в самом холодном (январь) месяцах в году (1998, 2002 и т. д.) зона с очень высоки потенциалом загрязнения атмосферы является расширенной, занимая более половины города, по сравнению с другими месяцами. Наличие такой зоны свидетельствует об очень сильном влиянии метеорологических условий на состояние воздушного бассейна в городе.

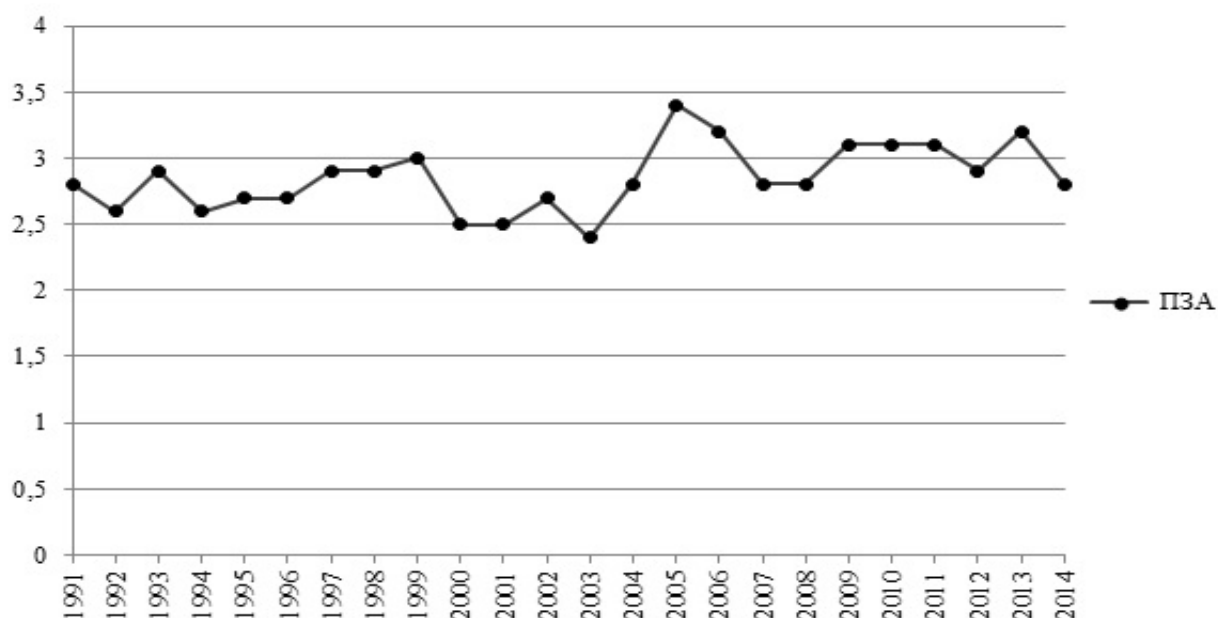


Рис. 2. Потенциал загрязнения атмосферного воздуха г. Уфы за 1991–2014 гг.
(по данным БашУГМС)

Как было отмечено выше, отражением состояния атмосферного воздуха является снежный покров. На рис. 3 представлена картосхема суммарного загрязнения снежного покрова по 6 тяжелым металлам (Pb, Cu, Zn, Ni, Mn, Hg).

Выбор химических соединений этих элементов определялся производственной спецификой города. Большинство этих элементов являются типоморфными для производств, расположенных в городе, либо это соединения, присутствующие в средах любого промышленного города. Практически вся территория города и близлежащих пригородных зон имеет значение суммарного коэффициента загрязнения ($Z_{\text{сумм}}$) от 16 до 24. 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 [5].

Расположение и интенсивность проявленных аномалий определяются количеством входящих в выборку химических элементов и отсутствием органических поллютантов. На фоне общего значения $Z_{\text{сумм}}$ от 16 до 24 выделяются зоны загрязнения с повышенным 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). Контурные линии этих аномалий слегка вытянуты в меридиональном направлении в соответствии с местной спецификой рельефа и направлениями господствующих ветров. При ранее проведенном картировании по отдельным химическим элементам контурные линии аномалий имели аналогичную ориентацию [6].

На фоне среднего селитебного загрязнения выявилось наличие достаточно больших ореолов с пониженным значением $Z_{\text{сумм}}$ – менее 16. В основном эти районы приурочены к парковым зонам, в том числе и наиболее обширная в западной и юго-западной части города. Контурные линии этой зоны приближены к повторению элементов рельефа (крутые склоны на периферии города с отсутствием промышленных предприятий и автомобильных дорог), либо здесь расположены бывшие промышленные предприятия. Интересно наличие зоны с пониженным уровнем загрязнения вокруг действующей ТЭЦ-2. Вероятно, это объясняется отсутствием в рассматриваемой ассоциации элементов, типоморф-

ных для ТЭЦ. Необходимо учесть наличие высокого источника выброса, что вызывает перераспределение загрязняющих веществ в атмосфере. Кроме того, в литературе отмечено, что степень зависимости загрязнения воздуха от направления ветра и других факторов неодинакова, а иногда вообще не проявляется. [3; 1]. Часть таких загрязняющих веществ рассеивается в атмосфере и создает общий городской уровень загрязнения атмосферы и выпадений из нее на снежный покров.

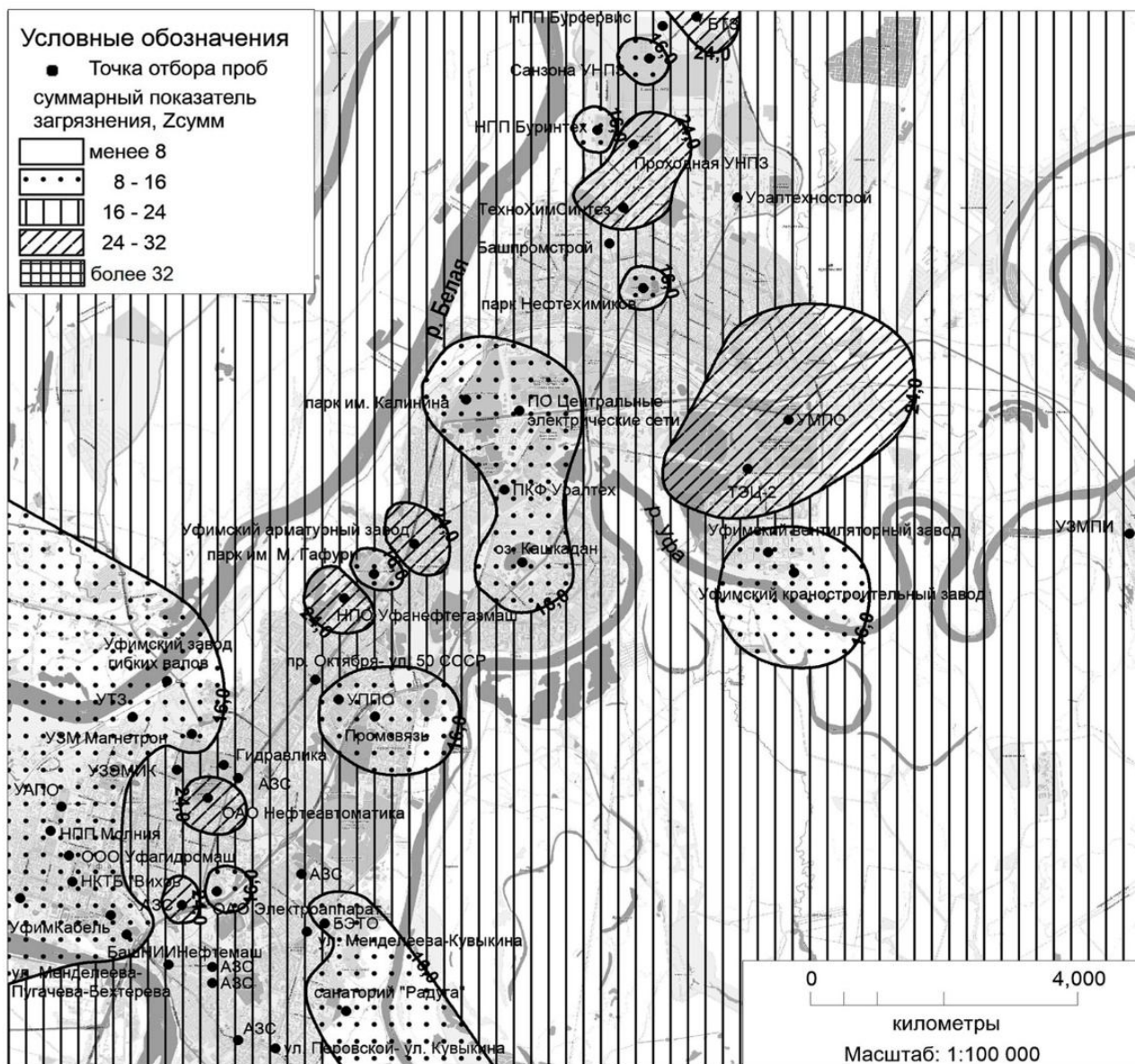


Рис. 3. Пространственное распределение суммарного коэффициента загрязнения снежного покрова г. Уфы (картосхема составлена по фоновым материалам кафедры гидрологии и геоэкологии БашГУ)

Заключение

Результаты расчетов ПЗА за определенный период (1991–2004 гг.) – среднегодовых и по сезонам – свидетельствуют о высоких значениях ПЗА для г. Уфы. Это свидетельствует о слабой рассеивающей способности атмосферы от вредных выбросов. В результате анализа полученной картосхемы (рис. 1) выявлены районы с наиболее неблагоприятными значениями ПЗА. Сопоставление картосхемы с обработанными статистическими значениями изолиний ПЗА с полиэлементной картосхемой загрязнения снежного покрова по шести элементам (рис. 3) в общем выявило совпадение ореолов с повышенным содержанием тяжелых металлов с областями значений ПЗА от 3, 5 и выше. В частности, наиболее ярко эта зависимость выражена в северной и северо-западной частях города, где фиксируется максимальные

значения ПЗА (более 4). В районе со значением ПЗА менее 3, 0 существенных аномалий снежного покрова не фиксируется. Такие значения свидетельствуют о большой роли природных, в частности метеорологических, факторов в формировании пространственной структуры загрязнения окружающей среды и, в частности, атмосферного воздуха. Это проявляется в перераспределении концентраций загрязняющих веществ в воздушном бассейне, в результате чего анализ их выпадений на снежный 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 в тех городах, где развита местная циркуляция воздуха, в том числе и в Уфе.

Основные закономерности распространения загрязняющих веществ в атмосфере и ее рассеивающая вредные выбросы способность в зависимости от метеоусловий примерно одинаковы в течение года (табл. 2). Однако при анализе фактического материала и расчетов ПЗА в разные месяцы степень взаимосвязи загрязнения воздуха и метеорологических параметров может быть различной.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Отделу прогнозов загрязнения атмосферного воздуха ФГБУ «Башкирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» за помощь в подготовке материалов данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сагет Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
2. 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.
3. Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 223 с.
4. Галеева Э.М., Хафизова А.И., Хасанова Э.И. Пространственная структура загрязнений снежного покрова г. Уфы. // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2014. Вып. 4. С. 7-11.
5. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.
6. 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.

Поступила в редакцию 21.01.16

E.M. Galeeva, D.S. Teplova

AIR POLLUTION IN URBAN AGGLOMERATIONS AND INFLUENCING METEOROLOGICAL CONDITIONS (BY THE EXAMPLE OF UFA)

The main factors of pollutants distribution in the atmosphere are considered in the article. The authors point out the distinctive feature of Ufa by the structure of the location of contamination sources and its geochemical specificity. Local features of natural conditions of the geochemical anomalies formation are listed. They include the peculiarity of the territory and elongated shape of the city, which causes redistribution of prevailing wind directions and concentrations of pollutants. Estimates and a brief analysis of the spatio-temporal variability of the air pollution potential as an indicator defining the scattering ability of the atmosphere against harmful emissions are given. The article provides a map of isolines of the air pollution potential for the city Ufa. Areas with the highest values of this indicator are identified; it is shown that the degree of interrelationship between the distribution of pollutants in the atmosphere and snow cover with the weather conditions is different depending on the season of a year. The article analyzes the structure of snow cover pollution as an indicator of the atmosphere state by the total index of contamination, the size and contours of geochemical anomalies.

Keywords: air pollution potential, meteorological factors, spatio-temporal variability, geochemical anomalies.

REFERENCE

1. Saet Ju.E., Revich B.A., and Janin E.P. *Geohimija okruzhajuschej sredy* [Geochemistry of the environment], M.: Nedra, 1990, 335 p. (in Russ.).

2. Teplova D.S. [The influence of natural factors on the formation of the spatial structure of snow cover pollution of Ufa], in *Mater. Vseros. nauch.-prakt. konf. "Landshaftno-ekologicheskoe sostojanie regionov Rossii"*, Voronezh: Istoki, 2015, pp. 195-198 (in Russ.).
3. Son'kin L.R. *Sinoptiko-statisticheskij analiz i kratkosrochnyj prognoz zagryaznenija atmosfery* [Synoptic-statistical analysis and short-term forecast of air pollution]. L.: Gidrometeoizdat, 1991, 223 p. (in Russ.).
4. Galeeva E.M., Hafizova A.I., and Hasanova E.I. [The spatial structure of snow cover pollution Ufa], *Vestn. Udm. Univer. Ser. Biol. Nauki o Zemle*, 2014, no. 4. pp. 7-11 (in Russ.).
5. Perel'man A.I. and Kasimov N.S. *Geohimija landshafta* [Geochemistry of landscape], M.: Astreja-2000, 1999, 610 p. (in Russ.).
6. Galeeva E.M. [Contamination of snow Ufa as a factor of change in geochemical appearance of water systems] in *Mater. mezhd. nauch. – prakt. konf. "Regional'nye problemy vodopol'zovanija v izmenja'uschihsja klimaticheskikh uslovijah"*, Ufa: Aeterna, 2014, pp. 280-284 (in Russ.).

Галеева Эльвира Миассаровна,
кандидат географических наук,
доцент кафедры гидрологии и геоэкологии
Теплова Дина Сергеевна, магистрант

ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет»
450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32
E-mail: hydroeco@mail.ru

Galeeva E M.,
Candidate of Geography, Associate Professor
at Department of Hydrology and Geoecology
Teplova D.S., master degree student

Bashkir State University
Zaki Validi st., 32, Ufa, Russia, 450076
E-mail: hydroeco@mail.ru