



Серия «Науки о Земле»
2011. Т. 4, № 2. С. 17–27

Онлайн-доступ к журналу:
<http://isu.ru/izvestia>

ИЗВЕСТИЯ
Иркутского
государственного
университета

УДК 504.3.054

О распространении пыли в атмосфере г. Улан-Батор

А. В. Аргучинцева (arg@math.isu.ru)
В. К. Аргучинцев (arg@math.isu.ru)
Бат-Эрдэнийн Ариунсанаа (sanaa@inbox.ru)

Аннотация. Моделируется загрязнение городской среды антропогенными источниками с учетом климатических особенностей рассматриваемой местности. Обсуждаются возникающие проблемы. Предлагаются пути улучшения экологической обстановки города.

Ключевые слова: юрты, печное отопление, моделирование, атмосфера, загрязнение, город.

Введение

Город Улан-Батор – столица Монголии, главный политический, экономический и культурный центр страны, расположен в долине р. Тоол (бассейн р. Селенги) на высоте 1300–1350 м над уровнем моря. Он находится в межгорной долине корытообразной формы, между горами: на севере – Чингэлтей Хайрхан (2300 м), на западе – Сонгино Хайрхан (1608 м), на юге – Богдхан гора (2391 м), на востоке – Баянзурх (1973 м) [4].

Темпы роста населения города в последнее время резко возрастают. Так, в 1998 г. население города составляло 650 тыс. чел, в 2009 г. один миллион (что составило 40,4 % всего населения Монголии), в 2010 г. – уже 1 112 600 человек. Из общего количества семей 97 114 (38,6 %) проживают в так называемых квартирных районах, 154 644 семей (61,4 %) – в юртах [3], которых в городе более 90 000.

Улан-Батор характеризуется высоким уровнем загрязнения воздушного бассейна вследствие того, что в городе сосредоточены основные промышленные предприятия страны (более 70 %), производящие 50–60 % ВВП; многочисленные котельные; неорганизованные юртовые отопительные системы (на которые приходится 83 % от всех выбросов [2]); тепловые электростанции. Здесь в среднем для отопления и приготовления пищи расходуют около 450 тыс. т угля и 100 тыс. т дерева в год.

Наиболее распространенными выбросами являются оксиды серы и азота, пыль, оксид углерода, зола [6].

Уровень загрязнения атмосферы Улан-Батора значительно выше с октября по март, в связи с наступлением отопительного сезона и формирова-

нием над территорией неблагоприятных метеорологических условий, связанных с возникновением температурных инверсий и устойчивой безветренной холодной зимы.

Учёт и регистрация источников антропогенного загрязнения на территории города проведены методом “Urban Air Quality Management for Asian Cities” (clean air initiative), разработанным Мировым банком. В качестве первичных материалов использованы различные карты: карты кадастра юрточных частей города и карта города масштаба 1:10 000.

В настоящее время в Улан-Баторе постоянно работают 6 постов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха (рис. 1).

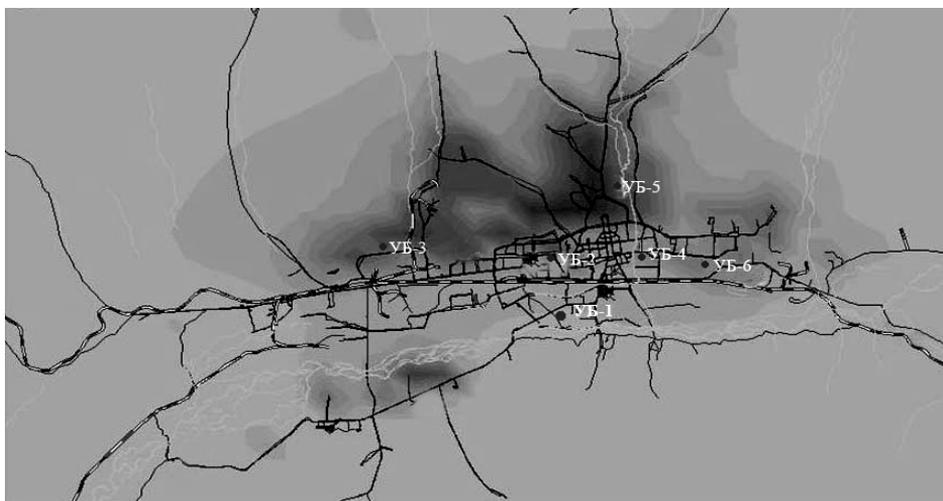


Рис. 1. Посты наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха:
УБ-1 – район Хан-Уул, УБ-2 – западный перекресток, УБ-3 – первый микрорайон,
УБ-4 – 13-й микрорайон, УБ-5 – круговое движение 32, УБ-6 – дворец офицеров

Данные наблюдений обобщены в табл. 1 [2]. Для взвешенных частиц в Монголии принята средняя суточная ПДК = 0,1 мг/м³ (100 мкг/м³).

Таблица 1

Данные наблюдений для взвешенных частиц

Дата	Концентрация взвешенных частиц			
	сред. знач., мкг/м ³	макс. знач., мкг/м ³	доля превышения ПДК сред. знач.	доля превышения ПДК макс. знач.
2008 г., май				
1–10	10–36	102	0,1–0,36	1,02
11–20	19–74	355	0,19–0,74	3,55
21–31	6–28	207	0,06–0,28	2,07
2009 г., январь				
1–10	945	1630	9,45	16,3
11–20	438	1860	4,38	18,6
21–31	66	113	0,66	1,13

Продолжение табл. 1

Дата	Концентрация взвешенных частиц			
	сред. знач., мкг/м ³	макс. знач., мкг/м ³	доля превышения ПДК сред. знач.	доля превышения ПДК макс. знач.
2009 г., февраль				
1–10	28	138	0,28	1,38
11–20	52	138	0,52	1,38
21–28	128	205	1,28	2,05
2009 г., март				
1–10	80	117	0,83	
11–20	69	108	0,69	1,08
21–31	66	93	0,66	0,93
2009 г., октябрь				
1–10	90,3	180	0,9	1,8
11–20	87,6	322	0,87	3,22
21–31				
2009 г., ноябрь				
1–10	214	540	2,14	5,4
11–20	85	259	0,85	2,6
21–30	105	154	1,05	1,54
2009 г., декабрь				
1–10	208	881	2,08	8,81
11–20	535	1740	5,35	17,40
21–31	300,5	1620	3	16,2
2010 г., январь				
1–10	297	983	2,97	9,83
11–20	204	556	2,04	5,56
21–31	257	603	2,57	6,03
2010 г., февраль				
1–10	242	433	2,42	4,33
11–20	344	421	3,44	4,21
2010 г., март				
1–10	184,4	400	1,84	4
11–20	152,4	288	1,52	2,88
2010 г., апрель				
1–10	90	205	0,9	2,05
11–20	65	114	0,65	1,14
21–30	50	121	0,5	1,21
2010 г., май				
11–20	69	286	0,69	2,86

Анализ климатической информации

Климат Улан-Батора резко континентальный, что обусловлено большой удаленностью от океанов. Также имеет значение изолированность страны, огороженной горным рельефом от других частей Азии. Континентальность климата выражается значительными годовыми и суточными ам-

плитудами температур, большой продолжительностью морозной зимы, крайней неустойчивостью погоды весной, общей сухостью воздуха и другими экстремальными явлениями.

В данной работе рассмотрены метеорологические условия, влияющие на распределение примесей в атмосфере г. Улан-Батора. Проанализированы метеорологические наблюдения по трем станциям (Улан-Батор, Университет, Аэропорт) и с помощью методов математической статистики получены климатические характеристики.

Изменение погоды тесно связано с колебаниями давления. Среднее годовое давление в Улан-Баторе 869,6 гПа. В годовом ходе максимум давления отмечается зимой и минимум – летом. Среднее месячное значение давления за период октябрь–март почти не изменяется и составляет 870,1 гПа. В холодное время года в Монголии устанавливается высокое атмосферное давление (антициклон) со слабыми ветрами, при которых наблюдается наибольшее загрязнение воздуха.

Атмосферных осадков выпадает немного, в основном в летние месяцы. Зимы малоснежны и бесснежны. Среднее годовое значение относительной влажности составляет 55 %. Самым «сухим» является май, когда средняя относительная влажность составляет 42 %. Наибольших значений относительная влажность достигает с ноября по январь. В суточном ходе в среднем летом она наименьшая в 1 ч и наибольшая в 19 ч. Суточный ход относительной влажности зимой слабо выражен.

Средняя годовая температура воздуха составляет минус 0,6 °С. Самая высокая средняя годовая температура (0,7 °С) наблюдалась на ст. Улан-Батор, самая низкая (-2,5 °С) – на ст. Аэропорт. Максимум температуры приходится на июль (19,4 °С), минимум – на январь (-24,5 °С). Температура воздуха от месяца к месяцу летом и зимой изменяется незначительно (на 2–3 °С). Самые большие изменения температуры от месяца к месяцу отмечаются в переходные сезоны.

В зимнее время температура над поверхностью земли сильно понижается и возникает температурная инверсия, при которой увеличивается температура с высотой. В результате возникают застойные зоны в определённые часы в течение дня в период пика сезона отопления в ноябре–марте.

Мощность слоя вертикальной инверсии достигает утром до 100 м, а вечером в некоторых местах, как Буянт Ухаа, Сонгино создаются условия для образования тумана и смога (табл. 2).

Таблица 2

Средняя мощность слоя приземной инверсии температуры, (м)

8 часов утра													
Название поста	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средняя за год
Улан-Батор	796	716	615	548	535	489	488	484	558	648	737	791	617
20 часов вечера													
Улан-Батор	705	553	314	266	273	298	286	35	294	340	556	732	411

Повторяемость приземных инверсий в холодный сезон года в 3 раза больше, чем в теплый сезон. Годовой ход повторяемости инверсий начинает расти в декабре, достигая наибольшего значения в январе и начинает уменьшаться в феврале. По многолетним данным средняя повторяемость инверсий в январе – 88 %. Весной повторяемость инверсий уменьшается и колеблется от 15 до 40 %. Летом повторяемость инверсий резко понижается до 10 %. Осенью повторяемость по утренним наблюдениям составляет 40–70 %, по вечерним 20–60 %.

Мощность слоя инверсии зависит от особенностей данной территории, от сравнительной высоты окружающих ее гор, ландшафта, циркуляции атмосферы, солнечного излучения и т. д. [5].

В Улан-Баторе скорость ветра в зимнее время года сравнительно мала. Наибольшие скорости ветра отмечаются в мае–июне, наименьшие – в декабре–январе. С ноября по январь повторяемость штилей наибольшая (402–694 ч) (табл. 3), причем, январь–декабрь почти полностью штилевые (общее количество часов в каждом месяце – 744).

Таблица 3

Повторяемость штилей (в часах)

Месяц	1	2	3	4	11	12
Штили	689	354	264	147	402	694

В табл. 4 и 5 приводятся повторяемость направлений и средняя скорость ветра по восьми румбам.

Таблица 4

Повторяемость направлений ветра, %

Время года	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	штиль
Зима	12,2	8,0	19,0	8,1	1,0	9,6	16,7	25,4	54,5
Весна	27,0	5,9	15,2	3,0	2,2	8,8	11,4	26,5	24,6
Лето	18,4	12,3	25,1	5,1	4,5	8,3	9,2	17,1	25,3
Осень	16,2	8,4	22,0	5,6	2,0	11,0	14,8	20,0	50,8

Таблица 5

Средняя скорость ветра, м/с

Время года	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Зима	5,0	2,9	3,1	2,6	3,3	3,1	3,1	3,8
Весна	6,1	4,0	4,0	2,8	4,7	5,3	5,3	5,4
Лето	5,0	4,5	4,2	3,5	4,4	3,7	4,6	4,6
Осень	5,6	3,7	6,9	2,9	3,7	3,4	4,1	4,3

Под влиянием местных физико-географических и других условий режим ветра в разных частях города существенно различается. Так, преобладающее направление ветра на ст. Аэропорт – южное. На ст. Университет повторяемость южных ветров резко сокращается и увеличивается повторяемость западных, северо-западных и северных ветров. На ст. Улан-Батор

наряду с преобладанием северо-западных и северных ветров велика повторяемость восточных ветров.

По данным станций были получены климатические характеристики вектора скорости ветра (табл. 6–8).

Таблица 6

Статистические характеристики скорости ветра на ст. Улан-Батор (UB), м/с

Показатель	Январь	Февраль	Март	Апрель	Ноябрь	Декабрь
Меридиональная составляющая скорости ветра u	0,02	0,13	0,23	0,65	0,04	-0,1
Зональная составляющая скорости ветра v	-0,2	-0,4	-0,9	-1,2	-0,33	-0,16
Среднее квадратическое отклонение σ_u	1,66	2,1	2,5	2,5	1,7	1,4
Среднее квадратическое отклонение σ_v	1,22	1,85	2,4	3,0	1,4	1,1

Таблица 7

Статистические характеристики скорости ветра на ст. Аэропорт, (BU) м/с

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Ноябрь	Декабрь
Меридиональная составляющая скорости ветра u	0,18	0,19	0,4	0,98	0,39	0,13
Зональная составляющая скорости ветра v	0,04	-0,01	-0,7	-1,3	-0,2	0,04
Среднее квадратическое отклонение σ_u	0,9	1,2	2,1	2,2	1,2	0,86
Среднее квадратическое отклонение σ_v	1,65	2,3	3,4	4,0	2,1	1,4

Таблица 8

Статистические характеристики скорости ветра на ст. Университет (IS), м/с

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Ноябрь	Декабрь
Меридиональная составляющая скорости ветра u	0,2	0,27	0,47	0,72	0,24	0,18
Зональная составляющая скорости ветра v	-0,08	-0,19	-0,53	-0,79	-0,25	-0,04
Среднее квадратическое отклонение σ_u	1,06	1,25	1,4	1,7	1,11	1,07
Среднее квадратическое отклонение σ_v	0,87	1,1	1,6	2,0	1,13	0,69

Полученные характеристики использованы в качестве входной информации при моделировании распределения антропогенных примесей.

Результаты численных экспериментов

На основе моделей [1], учитывающих орографические и термические неоднородности подстилающей поверхности на фоне меняющихся во времени и в пространстве крупномасштабных метеорологических полей, были проведены расчеты распространения антропогенных примесей в пограничном слое атмосферы г. Улан-Батор.

В качестве входной информации для моделирования использовались многолетние 8-срочные наблюдения по трем метеорологическим (BU, IS, UB) станциям и 2-срочные наблюдения по одной аэрологической (AUB – Улан-Батор) станции: скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, давление. Кроме того, использовались данные о рельефе местности (для всего города рельеф снимался с шагом 200 м) и параметрах источников антропогенных выбросов: интенсивность (мощность), начальная скорость выброса, радиус и высота труб, температура выбрасываемой газовой смеси, относительное расположение 860 площадных источников (рис. 2).

В качестве примеров приведем фрагменты отдельных расчетов. По численной модели рассчитаны абсолютные концентрации пыли, попадающей в атмосферу от бытовых печей. Область расчета для всего города, расположенного в долине р. Тоол, составляла $30 \times 15 \text{ км}^2$ (154×75 узлов равномерной сетки по горизонтали с шагом 200 м). Шаг по вертикали переменный: 2, 10, 50 м – в приземном слое и 50 м – в пограничном. Рассмотрены локальные синоптические ситуации (восточное и западное направления ветров), обусловленные ориентацией реки, и штиль (рис. 3).

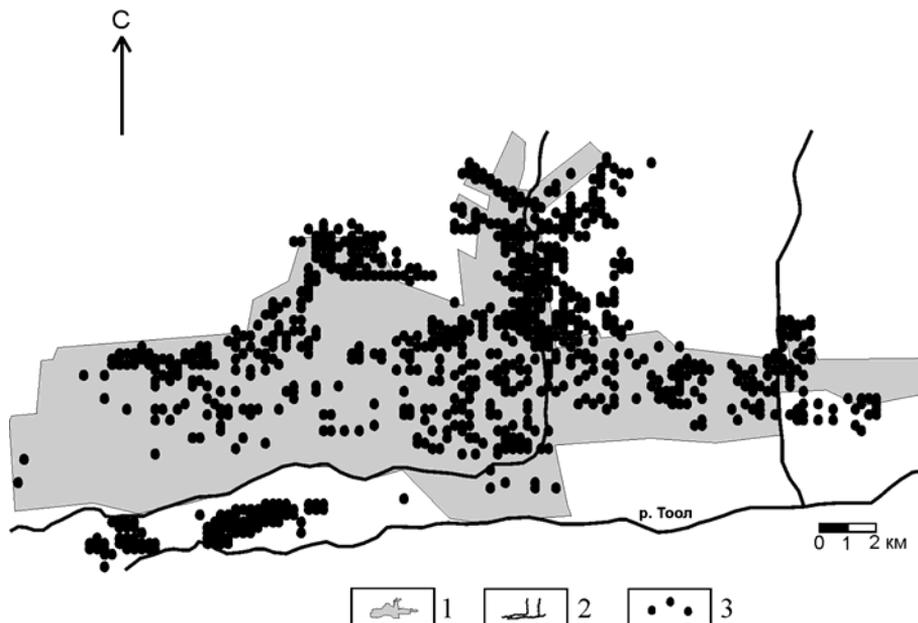


Рис. 2. Схема расположения юртовых источников г. Улан-Батора:
1 – главная часть города, 2 – реки, 3 – источники

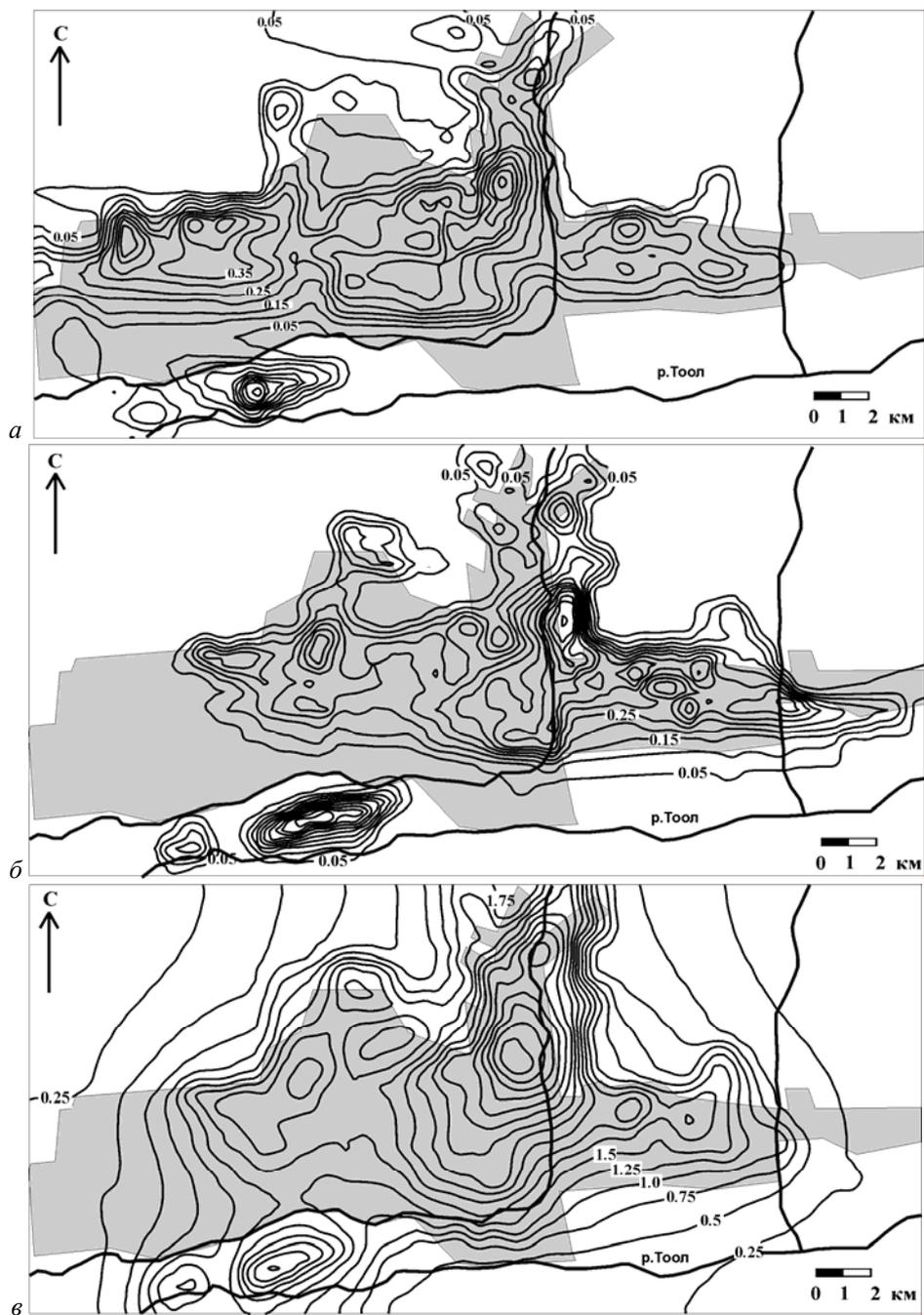


Рис. 3. Изолинии концентрации (mg/m^3) загрязняющих веществ:
а – при восточном ветре 5 м/с, б – при западном ветре 5 м/с, в – при штиле

Наибольшее загрязнение атмосферного воздуха пылью – в районах сосредоточения юрт, занимающих всю северную часть города и протянувшихся на запад и восток от центра Улан-Батора. При восточном ветре (см. рис. 3, *a*) область, в которой наблюдается превышение средней суточной ПДК пыли ($0,1 \text{ мг/м}^3$), составляет более 87 км^2 , а при западном (см. рис. 3, *б*) – 97 км^2 . Максимальные абсолютные концентрации загрязняющих веществ при восточном и западном ветрах составляют $0,65$ и $0,8 \text{ мг/м}^3$ соответственно. При штиле (рис. 3, *в*) экологическая обстановка в городе значительно ухудшается, максимальное значение концентрации может достигать $4,75 \text{ мг/м}^3$ (в 30 раз превышать среднюю суточную ПДК и почти в 10 раз – максимальную разовую ПДК). Область превышения максимальной разовой ПДК пыли составляет около 168 км^2 .

На основе моделей рассчитаны также вероятностные характеристики области загрязнения атмосферы от антропогенных источников, определены зоны превышения ПДК и их размеры.

Приведены расчеты повторяемости превышения ПДК пыли в Улан-Баторе для одного из неблагоприятных для рассеяния примесей месяца (января) (рис. 4, *a*) и апреля (рис. 4, *б*), когда циклоническая деятельность атмосферы резко возрастает, несколько улучшая экологическую обстановку в городе. Изолиния 1 оконтуривает область, в которой не менее 48 ч в месяц концентрация пыли превышает установленную ПДК, далее все изолинии проведены с шагом 24 ч (сутки). Как видно, наибольшее загрязнение атмосферного воздуха пылью отмечается в районах сосредоточения юрт, занимающих всю северную часть города и протянувшихся на запад и восток от центра Улан-Батора, где повторяемость повышенных концентраций пыли может достигать 550 ч в январе и 280 ч в апреле.



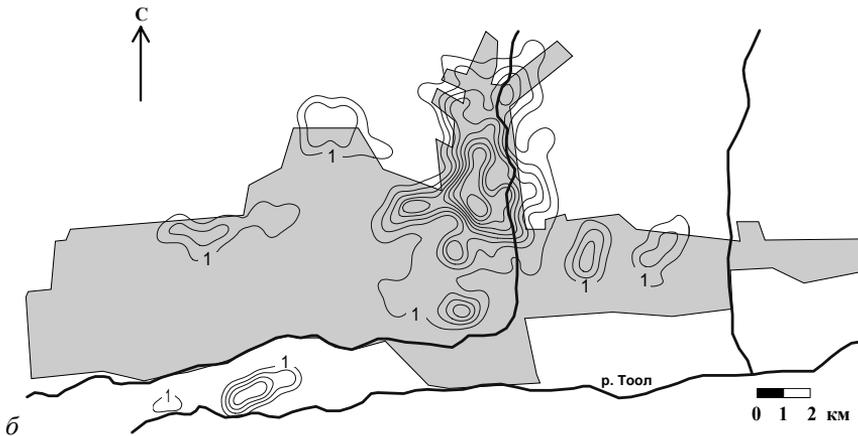


Рис. 4. Частота превышения средней суточной ПДК пыли в Улан-Баторе: а – в январе, б – в апреле

Выводы

1. Значительное загрязнение атмосферного воздуха г. Улан-Батор обусловлено выбросами низких источников (юртовые печи). Из-за очень низких печных труб, плохого качества топлива, неполного сгорания угля, высокой плотности юрточной застройки, нерационального размещения юрточных районов на территории Улан-Батора и особенностей рельефа местности почти все выбросы остаются в приземном слое атмосферы на уровне дыхания человека.

2. Одним из способов снижения уровня загрязнения воздушного бассейна города является прокладка коммуникационных сетей в юрточные районы, превращающая их в кварталы жилых домов.

3. Альтернативным методом решения экологической проблемы является использование населением печей новой модификации, потребляющих меньше топлива и соответственно гораздо меньше загрязняющих воздух.

4. Для улучшения общей экологической обстановки в городах необходимо регулярно проводить мероприятия по озеленению городских улиц и строительству парковых зон в черте города.

Исходные данные для моделирования получены при содействии Академии наук и Министерства природы и окружающей среды Монголии.

Список литературы

1. Аргучинцев В. К. Моделирование мезомасштабных гидрометеорологических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере и гидросфере региона оз. Байкал / В. К. Аргучинцев, А. В. Аргучинцева. – Иркутск : РИО ИГУ, 2007. – 255 с.
2. Ежемесячные отчеты Национальной организации по качеству воздуха, 2008–2010 гг. [Электронный ресурс]. – URL: www.naqo.mn.

3. Статистикийн эмхтгэл-2009, Монголын статистикийн үндэсний хороо. – УБ, 2010. – 463 с.

4. *Сономдагва Ч.* “Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын үндсэн эх үүсвэр, түүнийг бууруулах арга зам” сэдэвт диссертацийн ажил. – УБ., 2009. – 109 с.

5. *Эрдэнэсүх С.* Улаанбаатар хотын агаарын бохирдол, газрын гадрага орчмын температурын инверс хоорондын хамаарал. МУИС, БФ-ийн Эрдэм шинжилгээний бичиг // Биологи. – 2009. – № 14 (331). – С. 65–73.

6. “Төр-хувийн хэвшлийн түншлэл” хэлбэр ашиглаж Улаанбаатарыг нүүрстөрөгч бага ялгаруулах эрчим хүчээр хангах төсөл. “Эйя энд Жей” ХХК, “Мон-Энержи Консалт” ХХК. – УБ, 2010. – 128 с.

About dust distributions in atmosphere of Ulanbator city

V. K. Arguchintsev, A. V. Arguchintseva, Bat-Erdeniin Ariunsanaa

Annotation. Pollution of the city environment by anthropogenous sources taking into account climatic features of considered district is modelled. Arising problems are discussed. Ways of improvement of ecological conditions of a city are offered.

Key words: yurta, stove heating, modeling, atmosphere, pollution, city.

Аргучинцева Алла Вячеславовна
доктор технических наук, профессор
Иркутский госуниверситет
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1
декан географического факультета
тел.: (3952) 42–56–84

Бат-Эрдэнийн Ариунсанаа
Монгольский госуниверситет (МонГУ),
преподаватель
Иркутский госуниверситет
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1
аспирант
тел.: 89500681880

Аргучинцев Валерий Куприянович
доктор технических наук, профессор
Иркутский госуниверситет
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1
зав. кафедрой метеорологии и охраны
атмосферы
тел.: (3952) 52–10–94