



УДК 504.3.054(517.3–25)

Распределение примесей в атмосфере г. Улан-Батора

В. К. Аргучинцев (avk@geogr.isu.ru)

Бат-Эрдэнийн Ариунсанаа (sanaa@inbox.ru)

А. В. Аргучинцева (arg@math.isu.ru)

Аннотация. Рассмотрено качество воздуха по данным наблюдений стационарных постов г. Улан-Батора. Дана оценка распространения выбросов пыли источниками ТЭЦ с учетом климатических условий местности. Выявлены наиболее опасные зоны загрязнения.

Ключевые слова: тепловые электростанции, моделирование, атмосфера, загрязнение, город.

Введение

В настоящее время в г/ Улан-Баторе проживает 46 % всего населения страны (около 1318 тыс. чел.), и численность населения столицы продолжает стремительно расти. В 2000 г. население города было 760 тыс. чел., в 2005 г. – 929 тыс. чел., в 2010 г. – 1162 тыс. чел. Сложившаяся неблагоприятная экологическая ситуация в городе обусловлена интенсивной миграцией сельского населения, проживающего в городских условиях по-прежнему в традиционных юртах. В Улан-Баторе насчитывается свыше 170 тыс. юрт, которые занимают 15 896 га, т. е. более половины территории столицы, и являются главными источниками загрязнения воздушного бассейна [2].

Город Улан-Батор имеет особое значение в экономике страны, так как здесь сосредоточено более 70 % промышленности, производится 50–60 % ВВП. Эти особенности являются причиной роста потребности в электричестве и отоплении, вследствие этого загрязнение воздуха постоянно увеличивается.

По данным 2010 г., три ТЭЦ используют 3,6 млн т угля; 250 котельных – 1 млн т угля, а жители юрт в Улан-Баторе сжигают до 700 тыс. т низкачественного угля и 160 тыс. м³ дров за год. В результате за год в атмосферу города попадают 719 тыс. т SO₂, 573 тыс. т NO₂, 1,7 млн т пыли, 13,9 млн т CO₂. Кроме того, в городе 190 тыс. автомобилей, которые выбрасывают 66,7 тыс. м³ ядовитых паров [4]. Сложная и неблагоприятная ситуация, связанная с загрязнением атмосферного воздуха в Улан-Баторе, обусловлена количеством сжигаемого топлива, высокой концентрацией источников загрязнения и их неблагоприятным расположением.

В данной статье проведены расчеты, характеризующие распространение примесей от источников ТЭЦ в атмосфере г. Улан-Батора, с учетом климатических условий.

Наблюдение за загрязнением воздуха

В настоящее время в городе имеются 11 постов наблюдений за загрязнением воздуха (рис. 1). На этих постах постоянно измеряют концентрации от 5 до 7 видов загрязняющих веществ. В таблице 1 представлены характеристики постов наблюдения. Экологическая обстановка в городе обостряется, и в последние годы открыты дополнительно еще 7 постов наблюдений.

В обозначениях PM_{10} и $PM_{2,5}$ цифрами указывается аэродинамический диаметр взвешенных частиц.

По данным этих постов [5] составлена табл. 2 концентраций загрязняющих веществ, осредненных за месяц, и доли превышения ПДК. В Монголии, в отличие от России, приняты несколько иные стандарты качества атмосферного воздуха (с осреднением 10, 20, 30 мин; 8, 24 ч и год). В частности, в табл. 2 для PM_{10} , NO_2 , SO_2 ПДК среднесуточные с 24-часовым осреднением, для CO – с осреднением за 8 ч, так как в Стандарте [6] для указанного ингредиента не предусмотрено 24-часовое осреднение.

Уровень загрязнения атмосферы г. Улан-Батора значительно выше с октября по март в связи с наступлением отопительного сезона и формированием над территорией неблагоприятных метеорологических условий, связанных с возникновением температурных инверсий и установлением безветренной малоснежной зимы. По данным наблюдений за 2011–2012 гг., среднегодовая концентрация оксида серы превышает ПДК в 1,7 раза, пыли – в 2,6, оксида азота – в 1,2 раза. Концентрация PM_{10} в воздухе превышает ПДК почти круглый год.

На рис. 2 представлены данные наблюдений за концентрацией PM_{10} в разных районах города для одного из неблагоприятных для рассеяния примесей месяца – января (рис. 2, а) и апреля (рис. 2, б), когда циклоническая деятельность атмосферы резко возрастает, несколько улучшая экологическую обстановку в городе (по данным ежедневных наблюдений станций). В январе (см. рис. 2, а) на всех постах постоянно наблюдаются превышения ПДК пыли, в частности, самые высокие значения на постах: УБ-7, расположенном в промышленном районе; УБ-5, находящемся поблизости с рынком строительных материалов, и УБ-4 – в 13-м микрорайоне. В апреле (см. рис. 2, б) превышения ПДК наблюдаются на постах УБ-7, УБ-5, УБ-2 – западный перекресток.

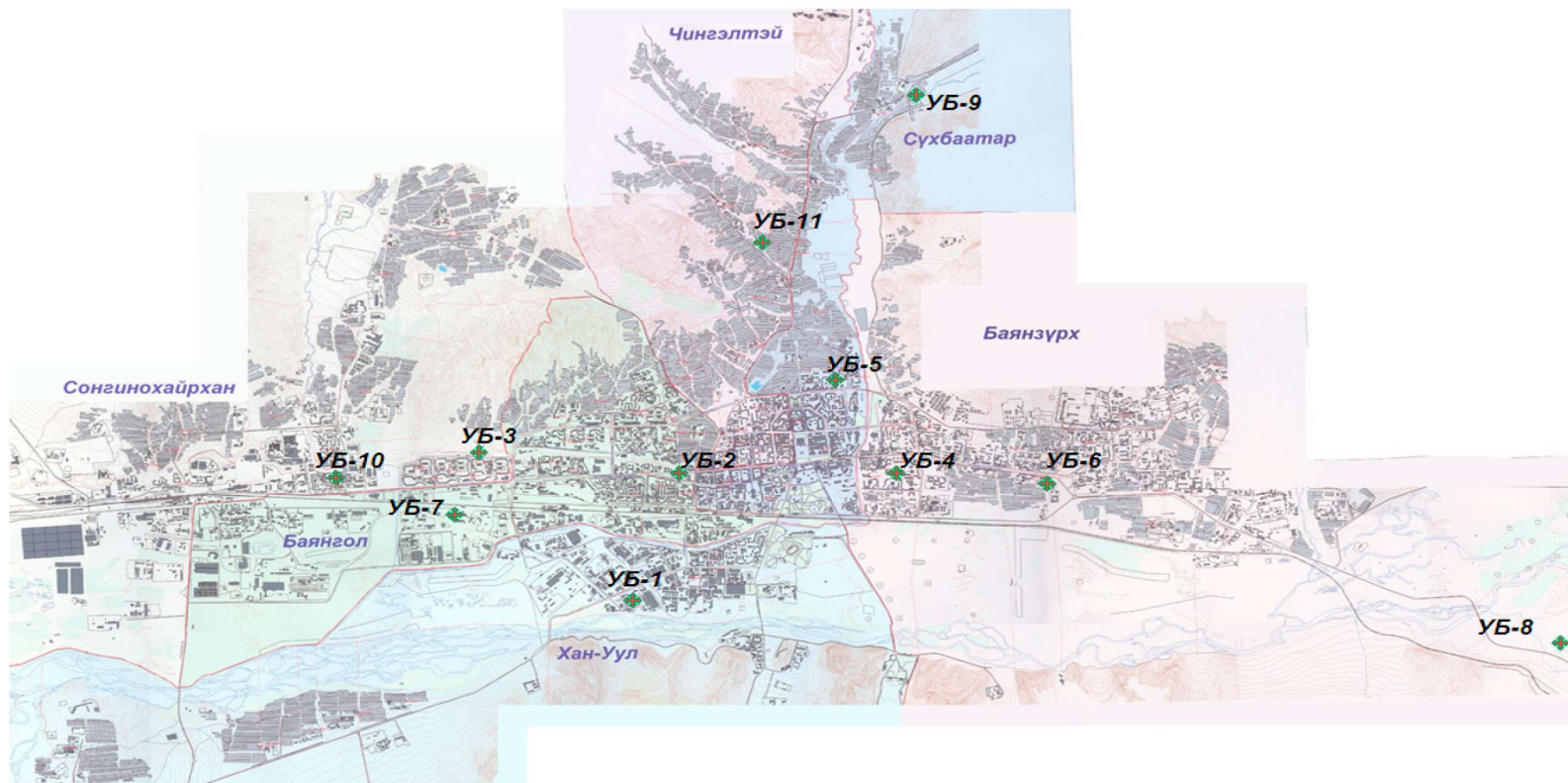


Рис. 1. Местоположение постов наблюдения УБ-1 – УБ-11

Характеристики постов наблюдения за загрязнением воздуха г. Улан-Батора [3]

Название поста	Местоположение	Определение загрязняющих веществ							Метод измерения	Дата от-кры-тия
		SO ₂	NO _x	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃	PM		
Улан-Батор-1 стационарный	Торгово- выставочный центр Мишгээл								Автомат. анализатор	1977
Улан-Батор-2 придорожный	Западный перекресток								Автомат. анализатор	1978
Улан-Батор-3 гэр ариа	Первый микрорайон								Мокрый химический анализ	1985
Улан-Батор-4 городской 1	13-й микрорайон								Автомат. анализатор	1996
Улан-Батор-5 городской 2	Детский сад № 69								Автомат. анализатор	2009
Улан-Батор – 6 городской 3	Дворец офицеров								Мокрый химический анализ	2009
Улан-Батор -7 промышленный	КОО «Монгол газар»								Автомат. анализатор	2010
Улан-Батор – 8 фоновый	Микрорайон Ургах наран								Автомат. анализатор	2010
Улан-Батор – 9 гэр ариа	Микрорайон Дамбадаржаа								Мокрый химический анализ	2011
Улан-Батор -10 придорожный	Сонгино хайрхан район Трикотажная фабрика								Автомат. анализатор	2011
Улан-Батор -11 гэр ариа	Хайлааст, детский сад № 83								Мокрый химический анализ	2010

■ – Измеряемые ингредиенты

Таблица 2

Среднемесячные значения концентраций загрязняющих веществ по городу

Дата	Концентрация загрязняющих веществ, мкг/м ³							
	PM ₁₀		NO ₂		SO ₂		CO	
	Сред. значения	Доля превышения ПДК = 100	Сред. значения	Доля превышения ПДК = 40	Сред. значения	Доля превышения ПДК = 20	Сред. значения	Доля превышения ПДК = 10 000
04. 2011	204,00	2,04	34,80	0,87	18,70	0,94	1029,00	0,10
05. 2011	146,00	1,46	26,00	0,65	13,00	0,65	800,00	0,08
06. 2011	92,00	0,92	28,00	0,70	7,00	0,35	480,00	0,05
07. 2011	82,00	0,82	23,00	0,58	4,00	0,20	400,00	0,04
08. 2011	100,00	1,00	32,00	0,80	4,00	0,20	567,00	0,06
09. 2011	122,00	1,22	39,00	0,98	6,50	0,33	623,00	0,06
10. 2011	137,70	1,38	51,90	1,30	14,70	0,74	935,00	0,09
11. 2011	247,00	2,47	65,00	1,63	41,30	2,07	1509,00	0,15
12. 2011	663,50	6,64	107,00	2,68	102,70	5,14	2717,00	0,27
01. 2012	771,30	7,71	78,00	1,95	111,30	5,57	2543,00	0,25
02. 2012	444,00	4,44	50,30	1,26	70,70	3,54	1926,00	0,19
03. 2012	225,30	2,25	36,00	0,90	35,00	1,75	1454,30	0,15
04. 2012	276,60	2,77	28,60	0,72	13,30	0,67	910,00	0,09

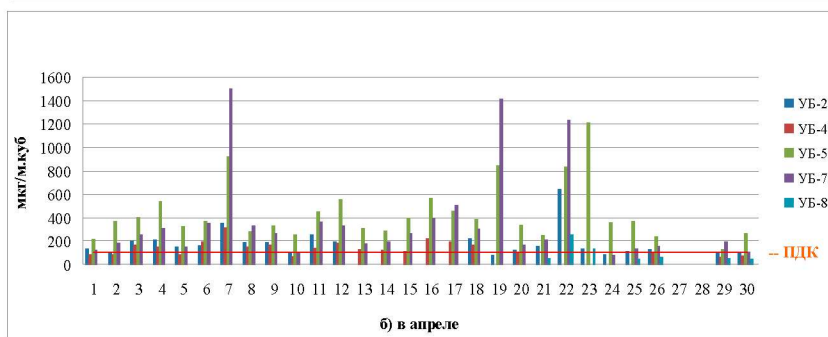
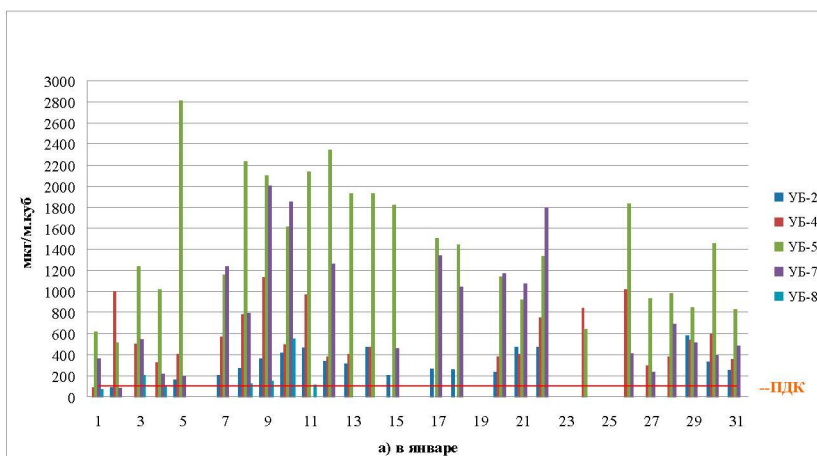


Рис. 2. Среднесуточные концентрации PM₁₀ по постам наблюдений

Анализ метеорологической информации

На формирование уровня загрязнения в различных районах города влияют его планировка, рельеф местности, метеорологические условия. В работе проанализированы данные наблюдений за 2009–2011 гг. метеорологических станций: Улан-Батор, Университет, Аэропорт (рис. 3).

В Улан-Баторе среднегодовая температура воздуха $-0,6$ °С. Самый холодный месяц – январь (средняя температура $-24,5$ °С), самый теплый – июль (средняя температура $19,4$ °С). Температура воздуха в летнем и зимнем сезонах колеблется незначительно (на $2-3$ °С) и по станциям наблюдений почти не отличается. Поэтому ее среднемесячное изменение приведем только для одной из станций наблюдений (рис. 4). Самые большие изменения температуры от месяца к месяцу отмечаются в переходные сезоны. С июня наступает безморозный период, который в среднем продолжается почти три месяца. Атмосферных осадков выпадает немного, в среднем $230-250$ мм в год, и в основном в летние месяцы. Зимой осадки незначительны, только в отдельные годы снежный покров (не более 15 см) бывает устойчивым в южной части города, северная же его часть практически бесснежна. За последние 10 лет среднее годовое значение относительной влажности составляет $59,7$ %. Самое сухое время года – весна, характеризуется сильными ветрами, бурями, малой относительной влажностью (в мае – 42 %, тогда как среднегодовая относительная влажность равна $55-60$ %) и скудными осадками.

Наибольших значений относительная влажность достигает с ноября по январь. Суточный ход относительной влажности зимой слабо выражен. Дождливый период продолжается с апреля по октябрь (в среднем $50-60$ сут. в году) [7; 8].

В летний период преобладают ветры северо-западного и северного направлений, а в зимний – юго-восточного. Под влиянием местных физико-географических условий режим ветра в разных частях города существенно различается. Так, в районе аэропорта (станция Аэропорт) средняя за год скорость ветра составляет $8,4$ м/с, тогда как на станциях Улан-Батор и Университет средние скорости – $2,4$ и $1,3$ м/с соответственно (рис. 5).

В холодное время года на станции Университет повторяемость южных ветров резко сокращается и увеличивается повторяемость западных, северо-западных и северных ветров. На станции Улан-Батор, наряду с преобладанием северо-западных и северных ветров, велика повторяемость восточных ветров. На всех станциях наибольшие скорости ветра отмечаются в мае-июне, наименьшие – в декабре-январе. С ноября по февраль повторяемость штилей наибольшая. Так, в декабре-январе редко бывают слабые ветры (модуль не более 2 м/с), а число часов со штилевой ситуацией колеблется от 690 до 695 (повторяемость штилей составляет не менее 93 %). Слабый ветер препятствует обменным процессам в приземном слое атмосферы, в результате чего концентрация вредных примесей в воздухе повышается, что часто является причиной смоговых ситуаций. Летом в Улан-Баторе хорошо выражена горно-долинная циркуляция, которая приносит чистый воздух с гор.

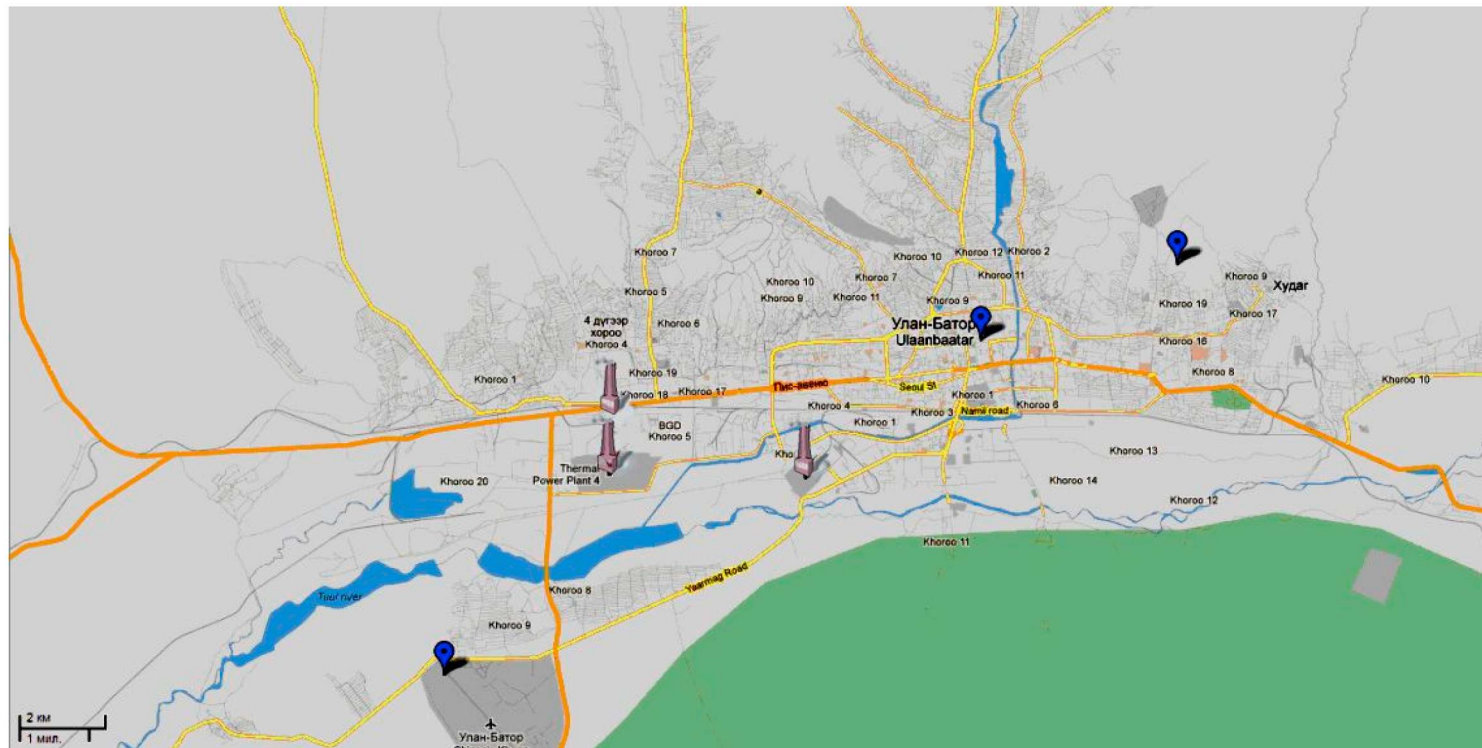


Рис. 3. Местоположение ТЭЦ и метеорологических станций:

🏭 – ТЭЦ, 📍 – метеорологические станции

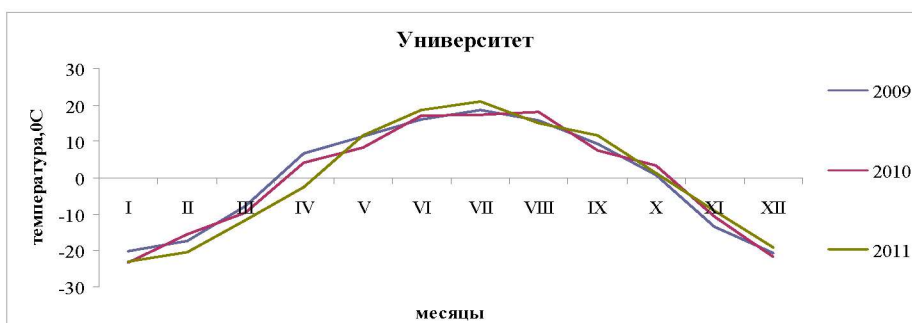


Рис. 4. Изменение температуры воздуха в течение года (2009–2011 гг.) по станциям наблюдений

Изменение погоды тесно связано с колебаниями давления. Среднее годовое давление в Улан-Баторе 867,9 гПа. В годовом ходе максимум давления отмечается зимой и минимум – летом. Среднее месячное значение давления за период октябрь – март почти не изменяется и составляет 870,8 гПа. В холодное время года в Монголии устанавливается высокое атмосферное давление (антициклон), тогда ветра редки и слабы. В это время наблюдается максимум загрязнения атмосферы.

Исходные данные и результаты расчетов

В качестве входной информации для моделирования использовались инвентаризационные данные о параметрах источников антропогенных выбросов: интенсивность (мощность), начальная скорость выброса, радиус и высота труб, температура выбрасываемой газовой смеси, координаты относительного размещения источников.

Кроме того, для модели необходимы климатические характеристики местности, которые были получены по данным многолетних (с 2000 по 2011 г.) восьмисрочных наблюдений трех приземных метеорологических станций и одной аэрологической станции с двухразовыми суточными наблюдениями на изобарических поверхностях от 1000 до 100 мб. Для распространения информации в узлы расчетов использовался метод оптимальной интерполяции. На основе статистической обработки построены эмпирические многомерные функции плотности вероятностей распределения векторов скоростей ветров. Дифференциальные законы распределения послужили для определения интегральных функций распределения реализации всех ветров, рассматриваемых для указанного временного отрезка.

Расчеты частоты превышения установленных критериев концентрации основаны на использовании уравнения переноса и турбулентной диффузии примеси с замыканием его на найденные климатические характеристики. Приведем фрагменты расчетов распространения пыли, выбрасываемой в атмосферу тремя источниками ТЭЦ (рис. 6). Расчет проведен с шагом 200 м для 200×200 точек, что охватывает по площади 40×40 км² (площадь, покрывающую весь город). Изолинии проведены с шагом 24 ч (сутки).

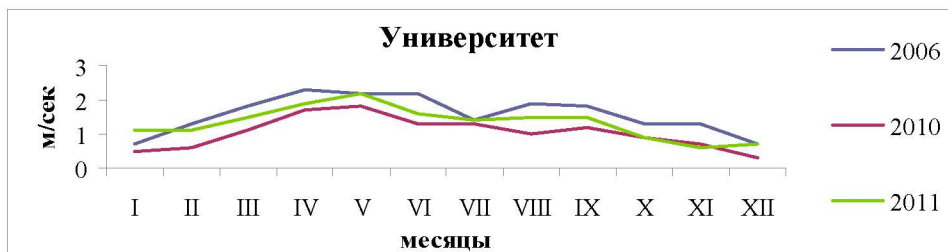
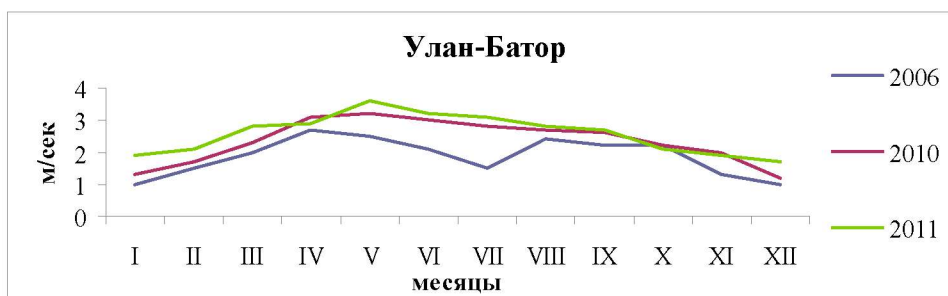
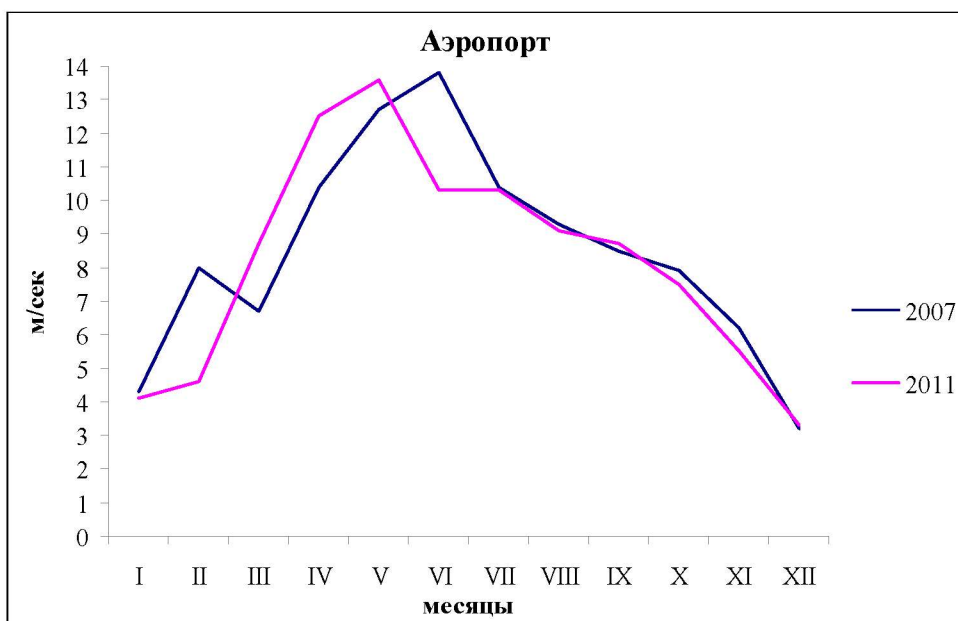
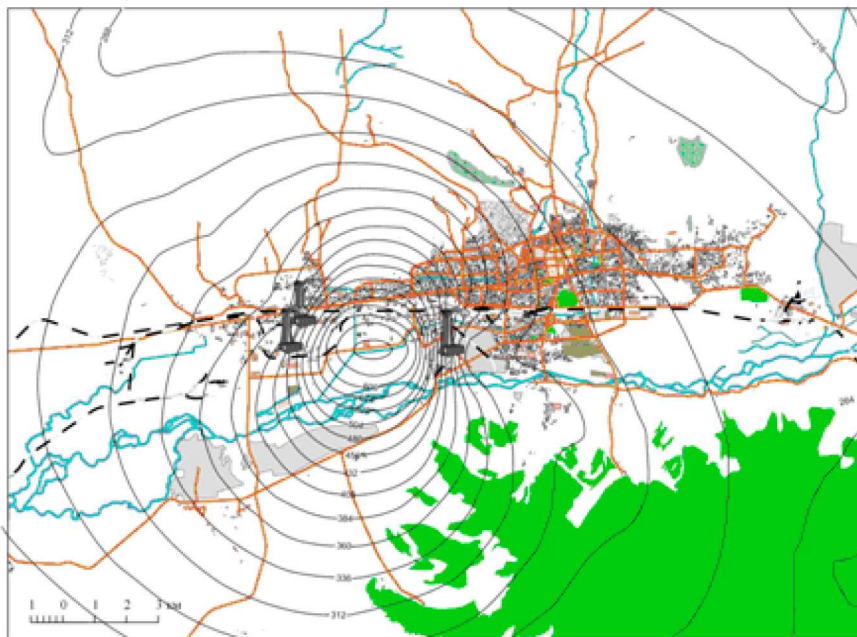


Рис. 5. Изменение среднемесячных абсолютных скоростей ветра по станциям наблюдений

а)



б)

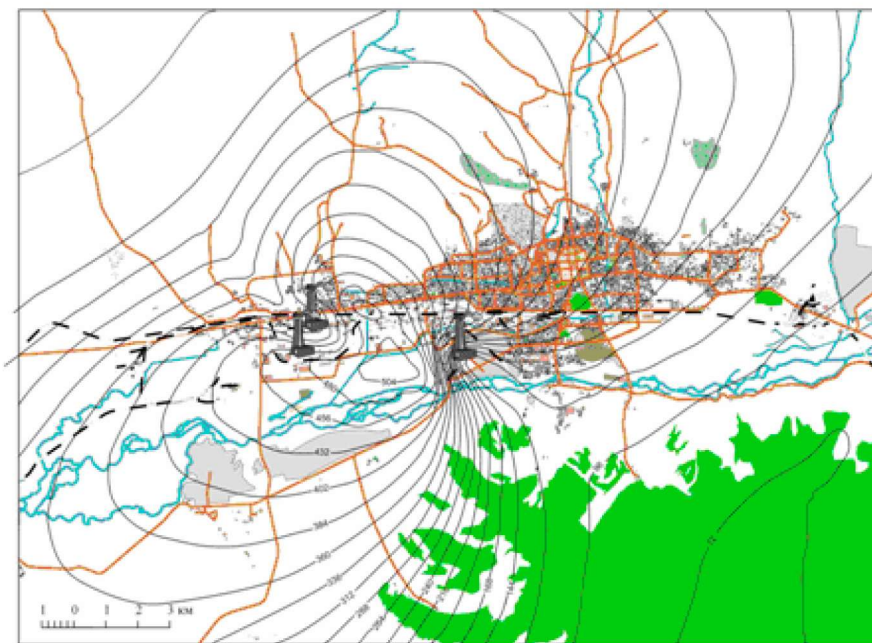


Рис. 6. Частота превышения среднесуточной ПДК пыли при работе ТЭЦ Улан-Батора: а) в декабре, б) в апреле

На рис. 6, *а* – результаты расчетов для одного из неблагоприятных для рассеяния примесей месяцев – декабря. Максимальное превышение ПДК достигает в месяц свыше 700 ч, т. е. население города постоянно дышит загрязненным воздухом. Это же подтверждается данными наблюдений (см. рис. 2). Рисунок 6, *б* характеризует распределение примесей в апреле, когда циклоническая деятельность усиливается. Экологическая ситуация несколько улучшается по сравнению с зимними месяцами, тем не менее максимальное количество часов превышения ПДК составляет около 530 (около 18 сут.). Изолинии опасных концентраций приведены только в пределах города. Видно (см. рис. 6), что опасные (с точки зрения превышения ПДК) зоны распространяются за пределы городской черты.

Выводы

Проведенные расчеты дали оценку вклада только ТЭЦ в общее загрязнение атмосферного воздуха. Но в городе имеются и другие теплоисточники: котельные, многочисленные печи юртовых поселений. Перегруженность автотранспортом, неудовлетворительное состояние многих дорог, горное окаймление с трех сторон, пыление гольцов и карьеров, малое количество осадков, слабые ветра, стремительный рост населения, переезжающего в город из сельских местностей вместе с юртами, еще более осложняют экологическую обстановку города, что неминуемо приведет к отрицательным последствиям.

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. *Аргучинцева А. В.* О распространения пыли в атмосфере г. Улан-Батор / А. В. Аргучинцева, В. К. Аргучинцев, Бат-Эрдэнийн Ариунсанаа // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2011. – Т. 4, № 2. – С. 17–27.
3. *Батдэлгэр Б.* Улаанбаатар хотын агаарын чанарын сүүлийн хоёр жилийн явцыг өмнөх жилүүдтэй харьцуулсан судалгаа (Изменение качества воздуха в г. Улан-Батор за последние два года и сравнительный анализ с предыдущими годами) / Б. Батдэлгэр. – Улан-Батор. 2012. – 57 с. (на монг. яз.).
4. Государственный доклад «О состоянии загрязнения атмосферного воздуха и тенденция изменения г. Улан-Батора в 2010 г.». – Улан-Батор, 2011. – 252 с.
5. Ежемесячные данные пунктов наблюдений за загрязнением воздуха г. Улан-Батора [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.tsag-agaar.mn>.
6. Монгол улсын (государственный) стандарт. MNS 4585: 2007. – Улан-Батор, 2007. – 8 с.
7. *Нацагдорж Л.* Улаанбаатар хотын уур амьсгал (Климат г. Улан-Батора) / Л. Нацагдорж. – Улан-Батор, 1988. – 89 с. (на монг. яз.).

8. Обзор климатических условий г. Улан-Батор [Электронный ресурс] // Офиц. сайт Службы гидрометеорологии и мониторинга среды. – URL: <http://www.icc.mn/aimag/Ub/?q=node/308> (на монг. яз.).

Distribution of pollutants in the atmosphere of Ulaanbaatar

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

Annotation. We considered the quality of air according to supervisions of Ulaanbaatar's stationary posts. The estimation of a dust distribution from heat power stations of the city is given, consider account climatic conditions of the territory. The most dangerously polluted areas are determined.

Key words: heat power station, modeling, atmosphere, pollution, city.

*Аргучинцев Валерий Куприянович
доктор технических наук, профессор
Иркутский государственный университет
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1
зав. кафедрой метеорологии
и охраны атмосферы
тел.: (395–2) 52–10–94, 52–10–88*

*Arguchintsev Valery Kupriyanovich
Doctor of Technical Sciences, professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
Head of the Department of Meteorology
and protection of the atmosphere
tel. : (395–2) 52–10–94, 52–10–88*

*Бат-Эрдэнийн Ариунсанаа
аспирант
Иркутский государственный университет
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: 89021721990*

*Bat-Erdene Ariunsanaa
Post-Graduate Student
Irkutsk State University,
Lecturer of NUM
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel.: 89021721990*

*Аргучинцева Алла Вячеславовна
доктор технических наук, профессор,
Иркутский государственный университет
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1
декан географического факультета
тел.: (395–2) 42–56–84*

*Arguchintseva Alla Vyacheslavovna
Doctor of Technical Sciences, professor
Dean, Faculty of Geography
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel. : (395–2) 42–56–84*