



УДК 551.510.42

## Моделирование распределения антропогенных примесей в атмосфере крупных городов Монголии (Улан-Батор, Дархан)

В. К. Аргучинцев ([arg@math.isu.ru](mailto:arg@math.isu.ru)),  
А. В. Аргучинцева ([arg@math.isu.ru](mailto:arg@math.isu.ru)), Л. В. Убонова

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

**Ключевые слова:** моделирование, загрязнение, атмосфера, юрты, печное отопление, тепловые электростанции.

### Введение

Крупные города Монголии характеризуются высоким уровнем загрязнения воздушного бассейна продуктами сгорания. Самый ощутимый вклад в загрязнение атмосферы городов вносят домовые печи (в юртовой части), тепловые электростанции, котельные, промышленные предприятия. В результате процессов горения в воздух поступает большое количество твердых и газообразных отходов. Наиболее распространенными выбросами являются оксиды серы и азота (IV), пыль, оксид углерода (II), а также зола. В последние годы концентрации загрязняющих веществ в атмосфере городов Монголии увеличились в несколько раз. Это связано с развитием предприятий топливно-энергетической, горнодобывающей и горно-обогатительной промышленности, а также промышленности строительных материалов и других отраслей.

*Основные источники загрязнения окружающей среды.* Сложившаяся неблагоприятная экологическая ситуация в городах Монголии, в первую очередь в Улан-Баторе – столице и самом большом городе страны, обусловлена интенсивной миграцией сельского населения, проживающего в городских условиях по-прежнему в традиционных юртах. Сегодня в Улан-Баторе проживает 1/3 часть всего населения страны (около 900 тыс. чел.) [5] и численность населения столицы продолжает стремительно расти.

В Улан-Баторе насчитывается свыше 134 тыс. юрт [3], которые занимают более половины территории столицы и являются главными источниками загрязнения воздушного бассейна. Для отопления юрт используются

печи-«буржуйки» с трубами высотой в три метра от поверхности Земли. Конструкция юрточных печей крайне несовершенна. Кроме того, в качестве топлива население использует низкосортный уголь, в некоторых случаях опилки, навоз и пр. Несовершенная конструкция печей и низкое качество топлива приводят к неполному его сгоранию и повышенному расходу, что, в свою очередь, увеличивает загрязнение атмосферного воздуха. За отопительный сезон жители юрт в Улан-Баторе сжигают до 572 тыс. т, как правило, низкокачественного угля и 700 тыс. м<sup>3</sup> дров [3]. Юртовая часть города является источником почти всех видов загрязнения: химического, биологического, механического, шумового, органического, теплового.

В Улан-Баторе функционируют три крупные тепловые электростанции. Самая крупная из них – ТЭЦ-3 потребляет около 3,5 млн т угля в год. Кроме того, на территории города работают более 400 отопительных печей пониженного давления, которые используют 1,3 млн т низкокачественного топлива в год, поставляя в атмосферу отходы без предварительной очистки. Ежегодно все теплоэнергетические источники Улан-Батора вместе потребляют около 5,2 млн т угля и выбрасывают в атмосферу около 200 типов различных веществ [3].

Выбросы юртовой части, ТЭЦ, котельных значительно снижают прозрачность атмосферы, особенно в зимнее время из-за скопления продуктов конденсации в виде капель или кристаллов, взвешенных над поверхностью Земли, приводя к интенсивным смоговым ситуациям лондонского типа не только в самом городе, но и в таком стратегически важном районе, как аэропорт Буянт-Ухаа, расположенном в 17 км от столицы. Кроме того, в непосредственной близости от аэропорта (не более двух километров) расположены юртовые поселки, выбросы от печных труб которых вносят существенный вклад в риск работы авиации.

Расположение столицы в обрамлении горных отрогов в сочетании с неблагоприятными метеорологическими факторами создают условия для накопления загрязняющих веществ в атмосфере и не позволяют воздушным потокам эффективно их удалять. В результате этого наблюдаются повышенные содержания многих вредных веществ в воздухе над Улан-Батором, при этом концентрация их в несколько раз выше по сравнению с соседними городами. По данным наблюдений в Улан-Баторе среднегодовая концентрация оксида серы (IV) превышает ПДК в 1,6 раз, пыли – в 4 раза, оксида азота (IV) – в 1,5 раза (в других городах в пределах ПДК). В зимнее время в Улан-Баторе максимальные разовые концентрации пыли превышают ПДК в 10–16 раз [4].

Вторым городом по величине и индустриальному значению Монголии является Дархан, который расположен на севере страны в долине р. Хараа. Численность населения Дархана около 85 тыс. чел. (на конец 2000 г.), из них 80 % населения проживают в центре города [2].

Одним из основных источников загрязнения Дархана является ТЭЦ, при эксплуатации которой в воздушную среду города ежегодно поступает большое количество разнообразных опасных веществ. Дарханская ТЭЦ

является одной из самых мощных теплоэлектростанций, расположенных на территории Монголии, а так как количество юрт в городе насчитывает около 7000, то по сравнению с ТЭЦ и Улан-Батором их выбросы менее значительны. В среднем за год на ТЭЦ сжигается 340 тыс. т угля, при этом в атмосферный воздух поступает около 4,5 тыс. т золы, 1,6 тыс. т угарного газа, 2,4 тыс. т оксидов азота (IV) и 3,2 тыс. т диоксида серы (IV) [7].

Таким образом, в последние годы в крупных городах Монголии (Улан-Баторе, Дархане) вследствие развития топливно-энергетической промышленности и увеличения жилой застройки (юртовая часть) возникла опасность поступления в атмосферный воздух значительных концентраций загрязняющих веществ, что в условиях особенностей климата и рельефа Монголии способствует созданию крайне неблагоприятной экологической ситуации. Поэтому с целью оценки распределения антропогенных примесей с учетом климатических особенностей крупных городов Монголии в работе используется математическое моделирование, которое при отсутствии детальных стационарных наблюдений является наиболее эффективным.

### **Анализ климатической информации**

Климат Монголии, вследствие удаленности страны от океанов и влияния горного рельефа, резко континентальный с суровой и долгой зимой, сравнительно теплым летом, резкими колебаниями температур, как суточных, так и сезонных. В климате Монголии большую роль играет зимний антициклон, центр которого располагается у северной окраины страны. Антициклон сопровождается нисходящими движениями воздуха, мощными приземными температурными инверсиями, слабыми ветрами, застоями воздуха. В городах Монголии суммарная повторяемость приземных инверсий очень велика (с января по март в ночные и утренние часы составляет около 90 %). Практически постоянно инверсии сопровождаются слабыми ветрами, повторяемость которых в нижнем слое атмосферы в течение года составляет от 45 до 55 % [8]. Максимум их повторяемости приходится на декабрь–январь; с февраля повторяемость инверсий начинает уменьшаться, достигая минимальных значений в июне–июле. В зимний период приземные инверсии наблюдаются при скоростях ветра у земли от 0 до 1 м/с, в весенний – от 2 до 5 м/с. Концентрации вредных веществ в атмосфере городов при слабом ветре увеличиваются на 50–140 %.

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). Температуры воздуха от месяца к месяцу внутри летнего и зимнего сезона изменяются незначительно (на 2–3 °С). Самые большие изменения температуры от месяца к месяцу отмечаются в переходные сезоны. 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. Самое сухое время года – весна, она характеризуется сильными ветрами, бурями, малой относительной влажностью (42 %, тогда как среднегодовая относительная влажность равна 55–60 %) и скудными осадками. С июня наступает безморозный период, который в среднем продолжается почти три месяца. Дождливый период продолжается с апреля по октябрь (в среднем 50–60 суток в году) [6].

Преобладающими ветрами в летний период являются ветры северо-западного и северного направлений, в зимний период – юго-восточного. Под влиянием местных физико-географических условий режим ветра в разных частях города существенно различается. Так, в районе аэропорта Буянт-Ухаа средняя за год скорость ветра составляет 2,4 м/с, тогда как на станциях Улан-Батор и МУИС средние скорости равны 1,8 и 1,1 м/с соответственно.

По данным наблюдений в г. Улан-Батор (метеостанции: IS – МУИС, UB – Улан-Батор, BU – Буянт-Ухаа) число часов со штилем в декабре–январе колеблется от 690 до 695, т. е. штилевую ситуацию отмечают более чем в 93 % случаев в месяц, а редкие ветры не превышают по модулю 2 м/с.

Слабый ветер препятствует обменным процессам в приземном слое атмосферы, в результате чего концентрация вредных примесей в воздухе повышается. Летом в Улан-Баторе хорошо выражена горно-долинная циркуляция, которая выполняет роль метеорологического вентилятора, приносящего чистый воздух с гор.

Климат Дархана резко континентальный, очень суровый и аридный. Среднегодовая температура воздуха на территории Дархана составляет -1,9 °С. В годовом ходе самым холодным месяцем является январь, средняя температура -24,3 °С, самым жарким – июль, средняя температура 20,5 °С. Теплый период (температура выше 0 °С) в году длится от 80 до 130 суток.

За последние 14 лет в Дархане выпадало в среднем 260 мм осадков в год. Это меньше, чем в соседних аймаках на 10–15 %, Улан-Баторе – на 15–20 % и меньше среднего значения количества осадков страны на 23 мм. Самые дождливые месяцы – июль и август. На холодный период (с октября по апрель) приходится 15,6 % всех осадков, а на теплый период (с мая по сентябрь) – 84,4 %. Зимние осадки в Дархане ничтожны, толщина снежного покрова достигает 5–10 см, только в отдельные годы снежный покров бывает устойчивым.

Среднегодовая скорость ветра на территории Дархана составляет от 1,8 до 2 м/с. Наименьшие скорости ветра посты наблюдений отмечают зимой (не превышают 2 м/с), а наибольшие – в весенние и осенние месяцы, особенно весной – от 25 до 30 м/с.

В зимний период над территорией города преобладает антициклон, и в это время наблюдается наибольшее количество штилей – 77 % в январе. Над территорией г. Дархан преобладают ветры северного направления (30 %). Ветры южного, северо-восточного и северо-западного направлений наблюдаются реже. Наименьшая повторяемость характерна для юго-западных ветров. Режим ветра различен в зимний и летний периоды. В

январе увеличивается частота южного ветра, достигая 29 %. Доминирование южного ветра зимой определяется господством местных южных и юго-восточных ветров, которые направлены в основном вдоль долины р. Хараа.

Максимальный уровень загрязнения атмосферы в крупных городах Монголии связан с неблагоприятными метеорологическими условиями, которые замедляют эффективное рассеивание и способствуют накоплению примесей на приземном уровне.

### Исходные данные и методы решения

В качестве входной информации для моделирования использовались данные многолетних наблюдений трех приземных метеорологических станций, ведущих ежедневно восемь измерений в синоптические сроки, и одной аэрологической станции с двухразовыми суточными наблюдениями на изобарических поверхностях от 1000 до 100 мб. Все наблюдения за вектором скорости ветра проводятся в полярной системе координат (направление, скорость). На точки расчетной области метеоданные интерполированы методом оптимальной интерполяции с весовыми функциями расстояния. Полученные данные обработаны с помощью методов математической статистики. На основе полученных результатов построены многомерные функции плотности вероятностей  $f(\rho, \theta)$  реализации всех ветров за интересующие многолетние месяцы с использованием гипотезы о нормальном законе распределения вектора скорости ветра, который с достаточным приближением хорошо выполняется для континентальных территорий.

$$\begin{aligned}
 f(\rho, \theta) = & \frac{1}{2\pi\sigma_u\sigma_v\sqrt{1-r^2}} \exp \left\{ -\frac{\rho_o^2}{2(1-r^2)} \left[ \left( \frac{\cos \theta_o}{\sigma_u^2} - \frac{r \sin \theta_o}{\sigma_u\sigma_v} \right) \cos \theta_o + \right. \right. \\
 & + \left. \left( \frac{\sin \theta_o}{\sigma_v^2} - \frac{r \cos \theta_o}{\sigma_u\sigma_v} \right) \sin \theta_o \right] + \frac{\rho_o\rho}{1-r^2} \left[ \left( \frac{\cos \theta}{\sigma_u^2} - \frac{r \sin \theta}{\sigma_u\sigma_v} \right) \cos \theta_o + \right. \\
 & + \left. \left( \frac{\sin \theta}{\sigma_v^2} - \frac{r \cos \theta}{\sigma_u\sigma_v} \right) \sin \theta_o \right] - \frac{\rho^2}{2(1-r^2)} \left[ \left( \frac{\cos \theta}{\sigma_u^2} - \frac{r \sin \theta}{\sigma_u\sigma_v} \right) \cos \theta + \right. \\
 & \left. \left. + \left( \frac{\sin \theta}{\sigma_v^2} - \frac{r \cos \theta}{\sigma_u\sigma_v} \right) \sin \theta \right] \right\}. \quad (1)
 \end{aligned}$$

где  $\rho = \sqrt{u^2 + v^2}$ ,  $\rho_o = \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}$  – соответственно наблюдаемый и осредненный модуль вектора с компонентами  $u$  и  $v$ , являющимися проекциями вектора скорости ветра  $\bar{v}$  соответственно на оси ОХ и ОУ локальной декартовой прямоугольной системы координат; причем  $u = \rho \cos \theta$ ,

$v = \rho \sin \theta$ ,  $\bar{u} = \rho_o \cos \theta_o$ ,  $\bar{v} = \rho_o \sin \theta_o$ ,  $\theta, \theta_o$  – полярные углы. По найденным дифференциальным функциям распределения (1) построены интегральные функции распределения вектора скорости ветра

$$F(\rho, \theta) = \int_0^{u_k} \int_0^{2\pi} \frac{1}{2\pi L} \exp(-L_2 \rho^2 + L_1 \rho - L_o) \rho d\rho d\theta,$$

где  $L = \sigma_u \sigma_v \sqrt{1 - r^2}$ ,

$$L_o = \frac{1}{2L^2} (\sigma_u^2 \bar{v}^2 - 2r \sigma_u \sigma_v \bar{u} \bar{v} + \sigma_v^2 \bar{u}^2),$$

$$L_1 = \frac{1}{L^2} [(\sigma_v^2 \bar{u} - r \sigma_u \sigma_v \bar{v}) \cos \theta + (\sigma_u^2 \bar{v} - r \sigma_u \sigma_v \bar{u}) \sin \theta],$$

$$L_2 = \frac{1}{2L^2} (\sigma_u^2 \sin^2 \theta - 2r \sigma_u \sigma_v \sin \theta \cos \theta + \sigma_v^2 \cos^2 \theta), \quad (2)$$

$u_k$  – тот критический модуль вектора скорости ветра, при превышении которого невозможно превышение предельной допустимой концентрации примеси, выбрасываемой источником. Внешний интеграл в (2) берется аналитически, внутренний – численно.

Кроме того, использовались инвентаризационные данные о параметрах источников антропогенных выбросов: интенсивности (мощности), начальной скорости выброса, радиусе и высоте труб, температуре выбрасываемой газовой смеси, координаты относительного размещения источников.

### **Результаты численных экспериментов для г. Улан-Батор**

На основе модели [1] рассчитаны вероятностные характеристики области загрязнения атмосферы от антропогенных источников, определены зоны превышения ПДК и их размеры.

На рис. 1 представлено относительное расположение 860 юрт в Улан-Баторе, образующих фактически площадный источник.

Приведены расчеты повторяемости превышения ПДК пыли в Улан-Баторе 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. 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.

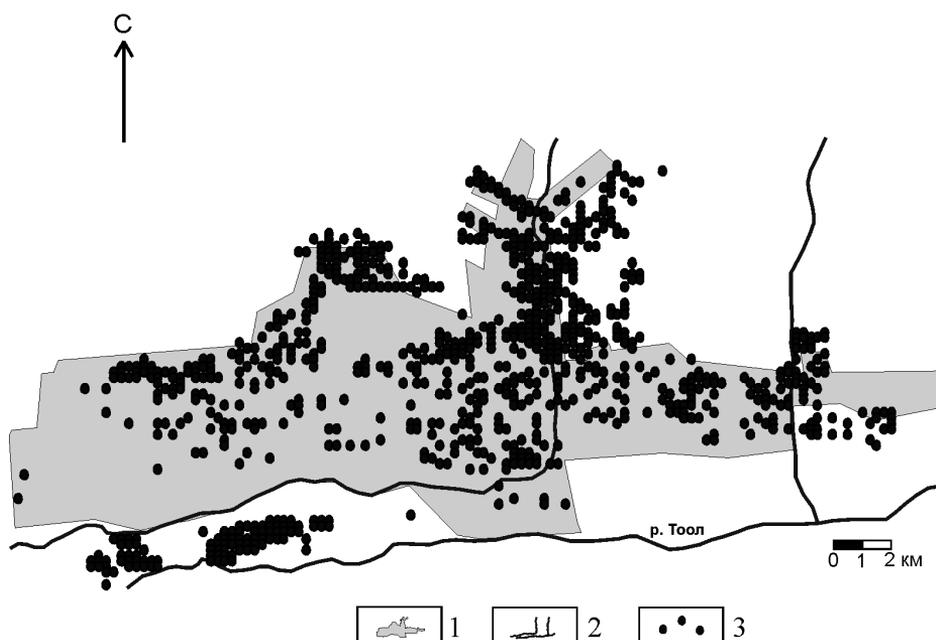


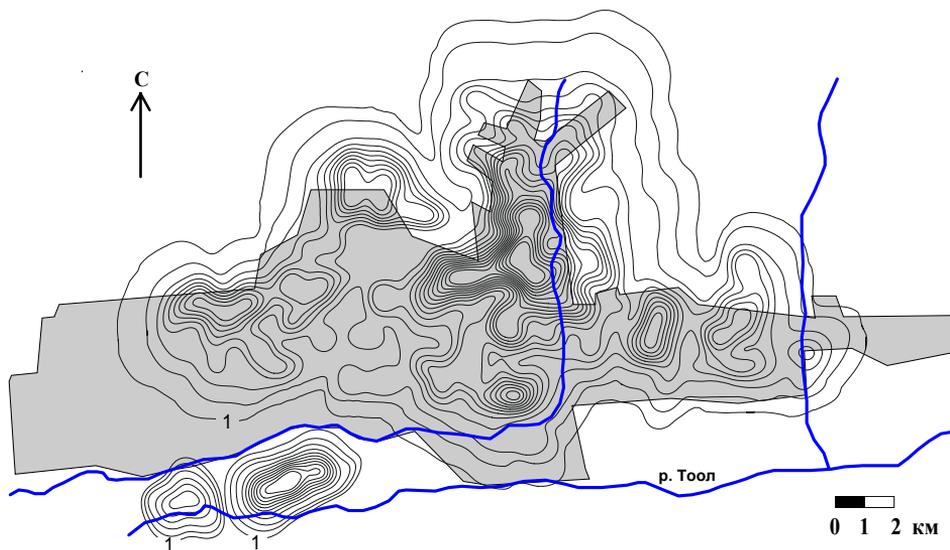
Рис. 1. Схема расположения юртовых источников г. Улан-Батор:

1 – главная часть города, 2 – реки, 3 – источники

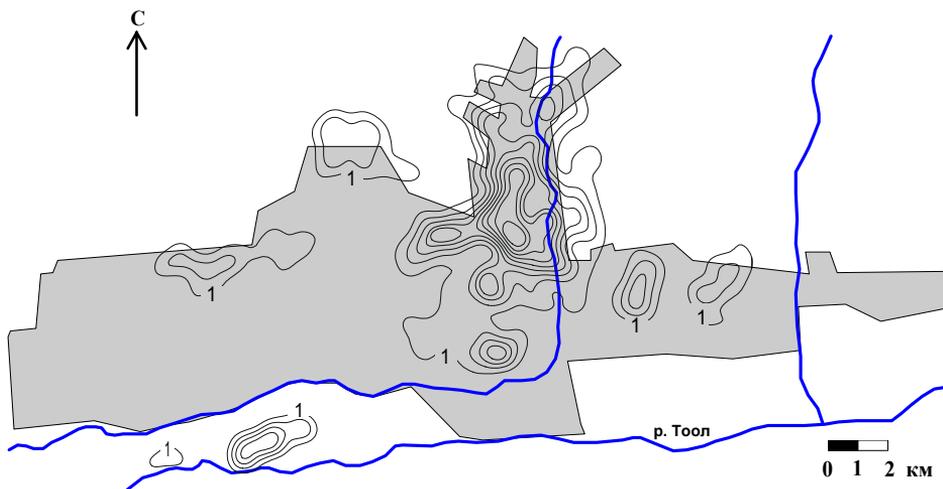
### Результаты численных экспериментов для района аэропорта г. Улан-Батор

Зона с высоким уровнем загрязнения воздуха расположена на юго-западной окраине г. Улан-Батор, в районе аэропорта Буянт-Ухаа, вблизи которого находится юрточный поселок. Здесь направление ветра и орografía местности способствуют переносу выбросов юртового поселка в направлении аэропорта.

Показано, что выбросы в атмосферу при отоплении юрточного поселка приводят к возникновению области устойчивого превышения ПДК пыли в районе аэропорта, при этом наиболее опасный уровень загрязнения возникает с ноября по март (во время отопительного сезона) и достигает своего максимума в декабре (рис. 3). На рисунке изолиния 1 ограничивает область диаметром свыше 2 км, в которой нарушение выбранного критерия (средняя суточная ПДК) будет не менее 72 ч в месяц. Остальные изолинии проведены с шагом 24 ч. Максимальное превышение отмечается в самом поселке и составляет около 500 ч в декабре. Из рисунка видно, что значительная часть взлетно-посадочной полосы длиной около одного километра находится в зоне устойчивого превышения ПДК пыли, при этом максимальное значение превышения ПДК пыли составляет 360 ч в месяц (см. рис. 3). В сочетании с неблагоприятными метеорологическими условиями это означает, что почти полмесяца может возникать сложная взлетно-посадочная ситуация, приводящая к риску и большим финансовым убыткам из-за простоя самолетов.



а



б

Рис. 2. Частота превышения средней суточной ПДК пыли в Улан-Баторе:  
а – в январе, б – в апреле

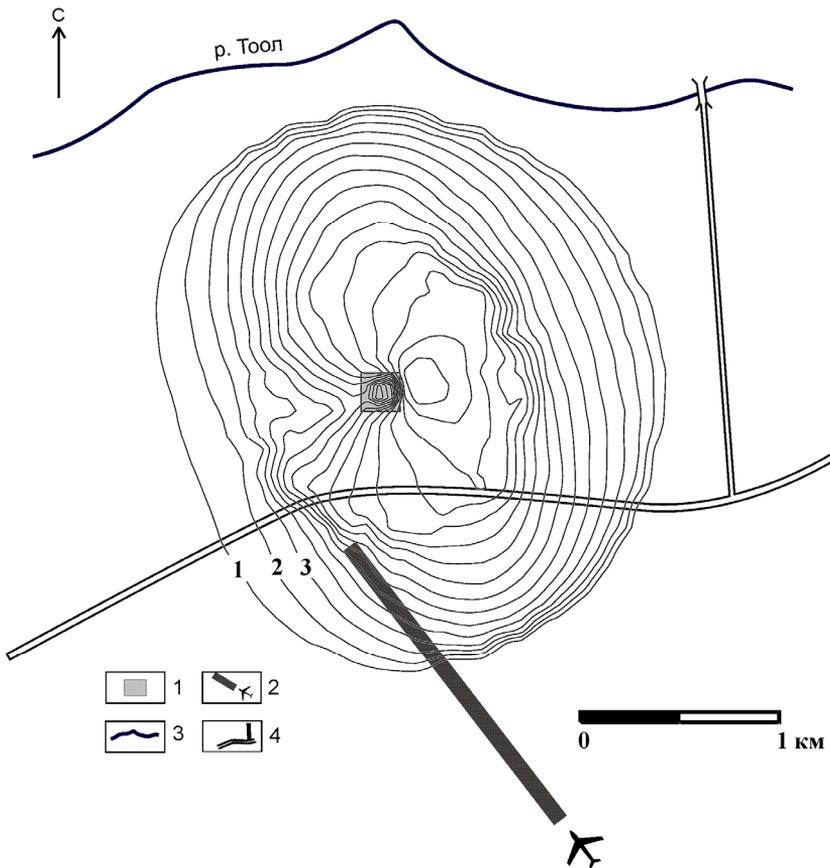


Рис. 3. Частота превышения средней суточной ПДК пыли в декабре в районе аэропорта г. Улан-Батор:

1 – юртовый поселок, 2 – взлетно-посадочная полоса, 3 – река, 4 – дороги

### Результаты численных экспериментов для г. Дархан

Для оценки влияния выбросов мощных ТЭЦ были проведены исследования распределения антропогенных примесей на примере г. Дархан. С этой целью была проведена обработка метеорологического материала по ветру и температуре воздуха за 22 года (с 1984 по 2005 гг.). Приведены отдельные результаты расчетов для одного из неблагоприятных для рассеяния примесей месяцев – января (рис. 4, а) и для благоприятных для рассеяния примесей месяцев – апреля и октября (рис. 4, б, в соответственно). На всех рисунках изолиния 1 соответствует 48 ч превышения ПДК в месяц и оконтуривает область, равную  $50 \text{ км}^2$  в январе, около  $38 \text{ км}^2$  – в апреле и около  $26 \text{ км}^2$  – в октябре. Остальные изолинии на рисунках проведены с интервалом 24 ч.

Наиболее опасная зона – это зона вблизи ТЭЦ, где превышение ПДК может достигать почти 530 ч в январе на площади от 2 до 2,5 км<sup>2</sup>, охватывать три жилых квартала.

### **Выводы**

1. Исследования показали, что 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. Главным источником загрязнения воздушного бассейна г. Дархан является одна из самых мощных ТЭЦ Монголии.

3. Проведенные расчеты позволяют сделать вывод о необходимости перенесения юртовых поселков в отдаленные от Монгольской столицы районы, что обеспечит улучшение состояния окружающей среды города. В первую очередь, для улучшения видимости в районе аэропорта, стабильной и безопасной работы авиации необходимо перенести юртовый поселок, находящийся вблизи аэропорта.

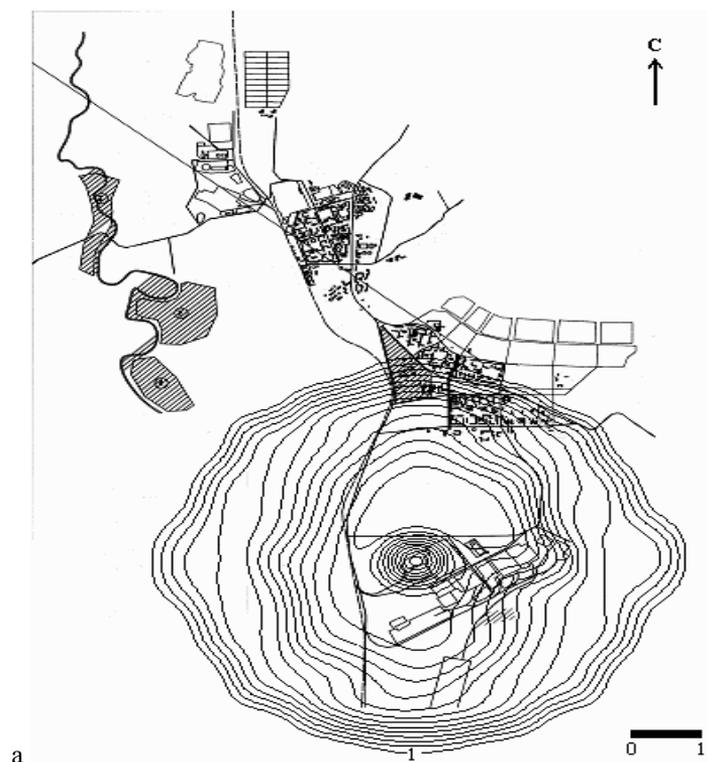
4. Другим способом снижения уровня загрязнения воздушного бассейна города является прокладка коммуникационных сетей в эти районы, тем самым превращение их в кварталы жилых домов.

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

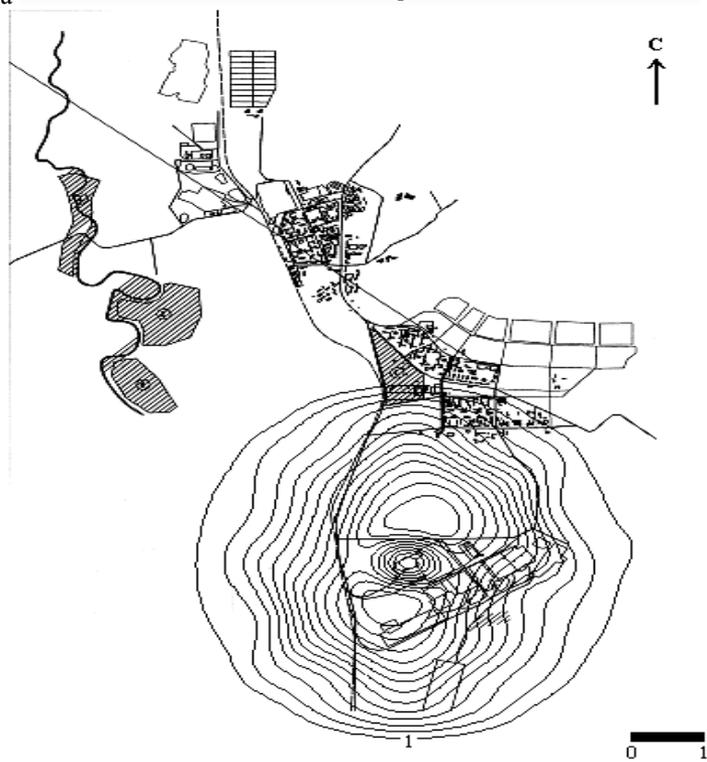
6. Для улучшения общей экологической обстановки в городах необходимо регулярно проводить мероприятия по озеленению городских улиц и строительству парковых зон в черте города (1 га лесонасаждений ежедневно поглощает 200–280 кг оксида углерода); ужесточить контроль за качеством очистных сооружений и фильтрующего оборудования заводов, котельных и теплоэлектростанций.

В настоящее время представители МНР очень сильно озабочены проблемой загрязнения воздушного бассейна столицы и проводят некоторые мероприятия по улучшению качества городского воздуха путем строительства крупных жилых кварталов, массового озеленения улиц, создания парковых зон. Но эти меры не являются достаточными, и пока существуют традиционные юртовые поселения в городе, проблему вряд ли удастся решить, а ухудшение состояния здоровья населения столицы будет продолжаться.

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



а



б

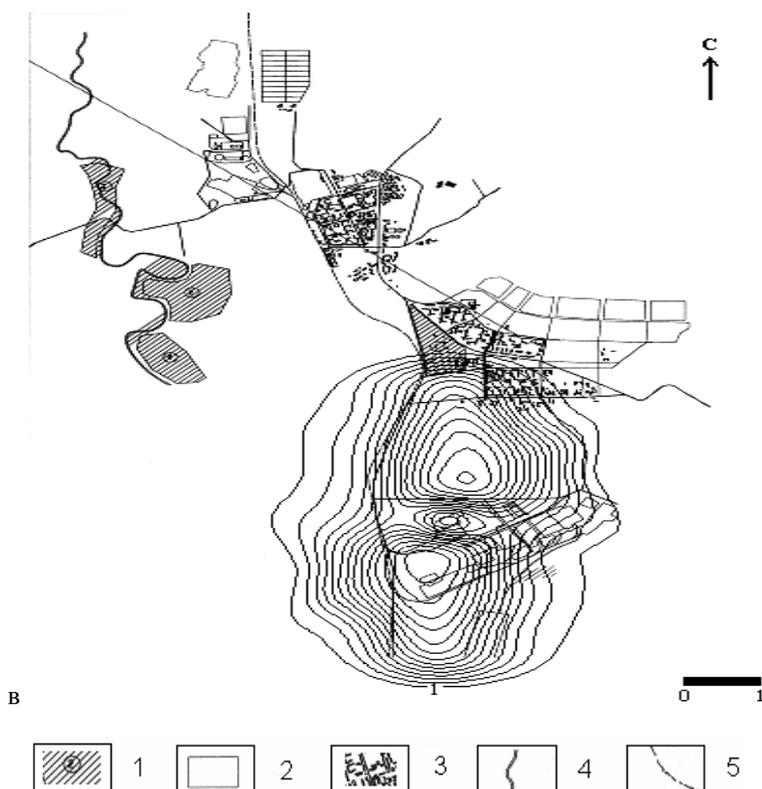


Рис. 4. Частота превышения ПДК пыли в районе ТЭЦ г. Дархан:

а) в январе, б) в апреле, в) в октябре: 1 – пастбища, 2 – пашни, 3 – жилой район, 4 – р. Орхон, 5 – дорога

#### Список литературы

1. Моделирование и управление процессами регионального развития / А. В. Аргучинцева [и др.] – М. : Физматлит, 2001. – 431 с.
2. Города-побратимы: г. Дархан : официальный сайт администрации г. Улан-Удэ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [<http://www.administration.u-ude.ru>].
3. Лхагва-Очир Д. Будем жить в масках от смога до 2020 года? // Обзор прессы Монголии. – 2007. – 11 февр. – № 04/77. [www.owasia.ru](http://www.owasia.ru).
4. Сарантуяа Г. Оценка геоэкологической обстановки города Улан-Батора : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / Г. Сарантуяа. – Казань, 2005. – 23 с.
5. Столица Монголии // Сайт посольства Монголии в Российской Федерации. <http://www.mongolianembassy.ru>.
6. Убонова Л. В. Метеорологические условия распределения примесей в атмосфере г. Улан-Батора // Гидроминеральные ресурсы Восточной Сибири : сб. науч. тр. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2005. – С. 53–60.
7. Дарханы Дулааны цахилгаан станцын байгаль орчинд нолоолох байдлын унэлгээ. – Дархан, 2004. – 195 с.
8. Оюун Ж. Дархан-Уул аймаг орчмын цаг агаарын онцлог / Ж. Оюун. – УГТЭШХ-ийн ЭШБ. – 1998. – № 22. – С. 158–160.

*Работа выполнена при поддержке гранта ФЦП 2009-1.1-154-069-005 «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области географии и гидрологии суши».*

## **Simulation of distribution of anthropogenic impurity in atmosphere of big cities of Mongolia (Ulan-Bator, Darkhan)**

V. K. Arguchintsev, A. V. Arguchintseva, L. V. Ubonova

**Abstract.** Ambient air pollution at a city by anthropogenic sources taking into consideration climatic peculiarities of the area is simulated. Arising problems are discussed. Ways of environmental situation improvement at the cities of Mongolia are proposed.

**Keywords:** modelling, pollution, atmosphere, yurtas, stove heating, thermal power stations.

*Аргучинцев Валерий Куприянович  
доктор технических наук  
Иркутский государственный университет  
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
заведующий кафедрой метеорологии  
и охраны атмосферы  
тел.: (395-2) 42-56-84*

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

*Убонова Людмила Владимировна  
Иркутский государственный университет  
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
старший преподаватель кафедры  
гидрологии и охраны водных ресурсов  
тел.: (395-2) 42-67-20*