



УДК 551.510.42

Оценка антропогенного загрязнения атмосферы города (на примере г. Братска)

А. В. Аргучинцева (arg@math.isu.ru),
О. В. Сташок (olazar@yandex.ru)

Аннотация. Статья посвящена проблеме загрязнения атмосферы. Представлены результаты статистической обработки метеорологических параметров, характерных для г. Братска; данных с постов слежения за состоянием атмосферного воздуха; сведений по заболеваемости населения. По математическим моделям проведены расчеты по оценке загрязнения воздушного бассейна основными промышленными предприятиями города.

Ключевые слова: атмосфера, источники, загрязнение, метеорологические параметры, моделирование, оценка, заболеваемость населения.

Актуальность исследования

Одновременно со становлением высокоиндустриального общества, развитием и наращиванием темпов производственной деятельности, превращением городов в крупные мегаполисы резко усилилось опасное вмешательство человека в окружающую среду. За последнее десятилетие негативное антропогенное воздействие достигло критического уровня и, несомненно, не может оставаться без должного внимания. Проблема охраны и восстановления окружающей среды стала одной из важных задач науки, к которой обращено внимание многих ученых всех стран мира [3].

На современном этапе развития вычислительной техники математическое моделирование является мощным аппаратом для изучения, прогнозирования, оптимизации сложных многопараметрических нелинейных процессов, к которым, в частности, относят антропогенное загрязнение от действующих и планируемых стационарных и передвижных источников, аварийные ситуации и пр.

Сравнительно молодой город Иркутской области – Братск является одним из городов, которому решением Государственной экологической экспертизы и коллегии Минприроды России присвоен статус города с чрезвычайной экологической ситуацией.

Братск расположен в центре Восточно-Сибирского региона, вдоль северо-западного берега Братского водохранилища, численность населения составляет 277,6 тыс. жителей. Город характеризуется мощно развитой промышленной инфраструктурой. Годовой объем всей продукции около 20 млрд руб., что составляет пятую часть от всего производства по Иркут-

ской области, 70 % которой экспортируется за пределы Российской Федерации. Предпосылками развития различных видов производств послужили наличие мощной сырьевой и энергетической базы. Братская ГЭС является основой для развития энергоемких производств (годовая выработка электроэнергии достигает 25 млрд Квт/ч).

Крупнейшие промышленные предприятия города, такие как ОАО «Братский алюминиевый завод» (БрАЗ), ОАО «Братский лесопромышленный комплекс» (БЛПК), ОАО «Целлюлозно-картонный комбинат» (ЦКК), предприятия теплоэнергетики, ОАО «Сибтепломаш» и множество других более мелких объектов расположены либо на небольшом удалении от жилой территории города, либо непосредственно в черте города. Индустриализация повлекла за собой формирование высокого уровня атмосферного загрязнения с вытекающими отсюда угрозами здоровью населения и ухудшения состояния окружающей среды.

Постановка задачи

В настоящее время при составлении Томов ПДВ все промышленные предприятия и проектные организации теоретическую оценку загрязнения атмосферы проводят по гостированным методикам (базирующимся на основе ОНД-86) [6]. Сыграв свою положительную роль на первых этапах потенциальной оценки загрязнения окружающей среды, с точки зрения современности, они устарели, так как имеют ряд существенных недостатков, которые позволяют воспринимать полученные данные скорее как качественные, а не количественные. К грубым недостаткам можно отнести симметричность расчета по секторам с выбранным шагом (особенно это проявляется при расчете загрязнения от одиночного источника); пренебрежение климатическими особенностями местности и меняющимся направлением вектора скорости ветра, характеристиками подстилающей поверхности; некорректность учета стратификации атмосферы (значение коэффициента температурной стратификации берется единым для слишком обширных территорий). Естественно, что модель должна быть удобной для пользователя (этим требованиям отвечают гостированные методики), однако не надо забывать и о том, что модель должна правильно отражать изучаемые явления.

Зарубежные и отечественные ученые внесли огромный вклад в решение вопросов, связанных с моделированием переноса и турбулентной диффузии примесей, прогнозированием уровней загрязнения, оценкой качества воздуха. Все разработанные модели позволяют в основном рассчитывать абсолютные концентрации загрязняющих веществ. Однако, наряду с абсолютными концентрациями ингредиентов, интерес представляет и продолжительность их воздействия на живые организмы.

Методы исследования

Метеорологические характеристики, непосредственно влияющие на создание условий для переноса и рассеяния примесей, несут в себе значи-

тельный элемент случайности, поэтому для их обработки и анализа используются вероятностно-статистические методы. В частности, поле скоростей ветра, заданное для многолетних месяцев по данным наблюдений на стационарных станциях и постах в полярной системе координат, переводится в локальную декартовую систему координат для получения проекций компонент вектора скорости ветра на соответствующие оси; для каждой из компонент вектора скорости ветра рассчитываются первые начальные, вторые, третьи и четвертые центральные, а также смешанные моменты. Полученная информация используется для расчета многомерной функции плотности вероятностей реализации всех ветров за рассматриваемый отрезок времени, на основе которой находится интегральная функция распределения реализации только тех ветров, при которых возможно превышение некоторого заданного ограничения концентрации рассматриваемого ингредиента (предположим, это ПДК средняя суточная или максимальная разовая, или ее доли и т. п.). Дополнительно определяются некоторые другие статистические характеристики, например векторное среднее ветра, коэффициент устойчивости ветра и пр.

Рассмотренный подход обосновывается тем, что реализации многолетних наблюдений гидрометеорологических величин относятся к разным годам, а потому они статистически независимы, и это позволяет преодолевать трудности, связанные с неэргодичностью природных явлений. Иначе говоря, изменения (приращения), получаемые новыми состояниями системы на непересекающихся интервалах времени длиной $\tau \ll T$ (τ – лагранжев масштаб времени), практически некоррелированы. Поэтому можно рассматривать случайную последовательность состояний с независимыми приращениями как марковский процесс без последствий, при котором система не обладает памятью о своих прошлых состояниях. Плотность переходной вероятности $p(t_o, x_o; t_1, x)$ для цепи Маркова удовлетворяет интегральному уравнению Смолуховского [4, 5].

$$p(t_o, x_o; t + \tau, x) = \int p(t_o, x_o; t, z) p(t, z; t + \tau, x) dz,$$

где $t_1 = t + \tau$. Переход из состояния x_o в интервал от x до $x + dx$ за время t_1 может произойти различными путями. Для того чтобы каким-то образом учесть такие пути, интервал времени t_1 разбивается на две части: t и τ . Тогда переход системы из x_o в интервал от x до $x + dx$ можно характеризовать сперва переходом в момент времени t в интервал от z до $z + dz$, а затем в момент $t + \tau$ из $z + dz$ в интервал от x до $x + dx$.

Полученная информация, наряду с данными об инвентаризации источников выбросов в атмосферу, рельефом местности, температурными характеристиками среды, является входной для математической модели по расчету продолжительности воздействия повышенных концентраций на живые организмы, включая и человека. Расчетные оценки служат информационной базой для картографирования местности по степени ее опасно-го загрязнения.

В основе модели лежит уравнение переноса и турбулентной диффузии примеси для анизотропных сред

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial u_i s}{\partial x_i} + \alpha s = F + \frac{\partial}{\partial x_i} k_{ij} \frac{\partial s}{\partial x_j}.$$

Здесь $i, j = \overline{1,3}$ – номер координаты; t – время; u_i – компонента скорости среды по соответствующей координате x_i ; s – концентрация загрязняющей субстанции; α – коэффициент неконсервативности примеси; $F = F(t, x_i)$ – функция, описывающая источники рассматриваемой субстанции; k_{ij} – тензор коэффициентов турбулентной диффузии. Уравнение записано в тензорном виде, а потому по дважды повторяющимся индексам в одночленном выражении производится суммирование в пределах их изменения.

Объект исследования

Воздушный бассейн г. Братска и пригородной зоны испытывает на себе очень сильное постоянное негативное воздействие. От промышленных предприятий, работающих в непрерывном режиме, поступает в воздух большое количество вредных веществ.

Так, например, в 2002 г. от стационарных источников в атмосферу города поступило 90,813 тыс. т загрязняющих веществ, что составило 19 % от суммарных выбросов предприятий по всей Иркутской области. Экологическая ситуация усугубляется еще и тем, что при определенных метеорологических условиях выбросы от БЛПК и БрАЗа могут обладать аддитивным и синергетическим эффектами, создавая условия для возникновения вторичных продуктов загрязнения [2].

ОАО «Братский алюминиевый завод» (БрАЗ) является одним из крупнейших заводов в мире по производству алюминия электролизом криолитоглиноземного расплава в мощных электролизерах. Годовая продукция завода – 800 тыс. т первичного алюминия. Через трубы его цехов (высотой не более 80 м) в атмосферу поступает более 60 ингредиентов, часть которых относят к очень токсичным и канцерогенным, например соляная кислота, аэрозоль свинца, фтористый водород, бенз(а)пирен, селенистая кислота и другие. Ущерб, наносимый предприятием окружающей среде, довольно значителен: в радиусе 16 км от БрАЗа за год осаждается 565 кг/км² вредных веществ. Содержание фтористых солей в почве города превышает естественное более чем в 126 раз, а содержание их в атмосфере достигает 1 ПДК, но при неблагоприятных метеорологических условиях может превышать и 10 ПДК.

ОАО «Братский лесопромышленный комплекс» (БЛПК) – крупнейшее в России предприятие по заготовке и переработке древесины, мощность которого достигает до 7 млн м³ древесного сырья в год. Расположено оно примерно в трех километрах от границы селитебной территории по

берегу водохранилища. Специфика производства – выпуск различных видов целлюлозы, картона, фанеры, обоев, пиломатериалов и т. п. Характер вредных выбросов обусловлен сульфатным способом варки. При слабых ветрах южного и юго-восточного направлений основная масса выбросов попадает на городские кварталы.

Использование на ОАО «Целлюлозно-картонный комбинат» (ЦКК) в технологическом процессе сульфида натрия и содержание в древесине метоксильных групп приводит к образованию серосодержащих дурнопахнущих соединений (сероводород, метилмеркаптан, диметилсульфид, скипидар, метанол, фенол). Загрязнение атмосферы происходит также продуктами горения черного щелока, коры, мазута, обжига известкового шлама.

В 2004 г. Геоэкоцентром Байкальского структурного подразделения (БСП) «Сосновгеоэкология» Министерства природных ресурсов Российской Федерации были проведены работы по снегохимической съемке территории г. Братска. Согласно полученным данным, установлено, что техногенное загрязнение атмосферы города продолжает оставаться на довольно высоком уровне. Основной район загрязнения по нерастворимому осадку имеет ширину 5–8 км, протяженностью до 15 км, причем включает в себя не только промышленные зоны, но и основную жилую часть города. Что касается растворимого осадка, то ареал загрязнения более широкий: 9–14 км, протяженность – более 15 км. В пределах промышленной зоны БрАЗа и западной части городской застройки наблюдаются превышения концентраций вредных веществ в 20–100 раз.

Антропогенное загрязнение атмосферы провоцирует экологически обусловленные болезни и обострение течения многих вирусных заболеваний. Некоторые ингредиенты, входящие в промышленные выбросы, обладают способностью накапливаться в атмосфере, причем многим из них свойственна кумуляция в организме человека. В настоящее время не подлежит сомнению тесная взаимосвязь степени загрязнения атмосферы с состоянием здоровья населения. Все больше появляется доказательств вклада загрязнения окружающей среды в ускорение процессов старения населения и сокращения продолжительности его жизни [7].

Результаты расчетов

Для анализа климатических характеристик, обуславливающих степень загрязнения атмосферного воздуха, были собраны данные наблюдений, проведенных Центральной Братской гидрометеорологической обсерваторией за двадцатидевятилетний период (с 1978 по 2006 гг.). После статистической обработки метеорологического материала были построены эллипсы ветрового рассеяния и оценены потенциальные площади загрязнения атмосферы и подстилающей поверхности. Полуоси для каждого многолетнего месяца рассчитаны из соображений вероятности попадания конца вектора скорости ветра в площадь эллипса рассеяния. Результаты расчетов показали, что наиболее неблагоприятные условия для рассеяния примесей складываются в январе и июле.

Направления ветров анализировались по шестнадцати румбам, по каждому направлению произведен расчет среднемесячной частоты появления. В результате для каждого месяца в отдельности построены розы ветров. Проанализирована сезонная динамика смещения ветровых потоков, и для города и окрестностей выведена годовая роза ветров.

Преобладающими направлениями для г. Братска являются ветра третьей четверти горизонта с явно выраженным преобладанием западного направления.

Что касается скоростей ветра, то необходимо отметить, что наименьших значений они достигают в летние месяцы. По среднегодовым значениям можно отметить, что для города характерны небольшие скорости ветра, около 3–4 м/с. Самый низкий коэффициент устойчивости ветрового режима со значением 0,2 характерен для июля.

Метеорологические параметры в районе г. Братска не обеспечивают быстрого рассеяния вредных веществ, что негативно сказывается на степени загрязнения воздушного бассейна.

С постов слежения за состоянием атмосферного воздуха города (ГУ ЦЕНТР ГОССАНЭПИДНАДЗОРА) были собраны данные с 1998 по 2003 гг. по четырем контрольным точкам, которые расположены в разных частях города, соответственно на разном удалении от промышленных предприятий и в разных условиях городской застройки. Для каждого отдельного пункта и по городу в целом рассчитаны средние концентрации вредных веществ, проведено сравнение с ПДК, проанализирована годовая динамика содержания в атмосфере различных ингредиентов. Практически по всем контролируемым ингредиентам кратность превышения ПДК довольно значима, причем самый высокий процент превышений соответствует январю и июлю (тем самым результат подтверждает данные статистической обработки метеорологических характеристик). По многим ингредиентам динамика содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе отдельно по пунктам отличается между собой, сказываются территориальная близость источников и особенности орографии. Наибольшие превышения ПДК наблюдаются в юго-западной окраине города, что обусловлено близостью промышленных источников и наиболее часто повторяющимся направлением ветра. Что касается фтористого водорода, то значительные концентрации отмечаются во всех пунктах.

Для работы с моделью по оценке антропогенного загрязнения атмосферы г. Братска, в первую очередь, были выбраны те месяцы, в которые создаются максимально неблагоприятные условия для рассеяния выбросов. Приведем результаты расчетов для января.

В январе по городу отмечается наибольшая повторяемость штилевых ситуаций, инверсий приземных и приподнятых. Именно в это время в Восточной Сибири устанавливается азиатский антициклон, наблюдается малая облачность и спровоцированная низкими температурами высокая степень выхолаживания территории. Ветры данного месяца характеризуются низкими скоростями, коэффициент устойчивости составляет 0,67.

Расчеты [1] проводились с использованием в качестве входной информации инвентаризационных данных крупных промышленных объектов города и климатических характеристик местности. С точки зрения анализа содержания в воздухе вредных ингредиентов, обусловленных поступлением с выбросами источников Братского лесопромышленного комбината (БЛПК), получены следующие результаты:

- повышенное содержание древесной пыли (ОБУВ $0,1 \text{ мг/м}^3$) в атмосфере в радиусе 1 км от источников может иметь место до 160 ч в месяц;
- повышенные концентрации марганца (Mn) (ПДКсс = $0,001 \text{ мг/м}^3$) – в радиусе 50 м в течение 30 ч в месяц;
- содержание бенз(а)пирена (ПДКсс = 10^{-6} мг/м^3) превышает нормативное в течение 615 ч в месяц в радиусе 7 км от предприятия;
- метилмеркаптан (ПДКсс = $9 \cdot 10^{-6} \text{ мг/м}^3$) со значительным превышением допустимой нормы содержится в атмосфере свыше 590 ч в месяц, распространяясь вокруг предприятия в радиусе не менее 2 км.

Так, например, на рис. 1 представлена схема распространения бенз(а)пирена от БЛПК с указанием количества часов на протяжении месяца, в течение которых возможно превышение ПДК. Ареал загрязнения атмосферного воздуха данным ингредиентом довольно значителен – радиус около 8 км и затрагивает несколько микрорайонов жилого сектора.

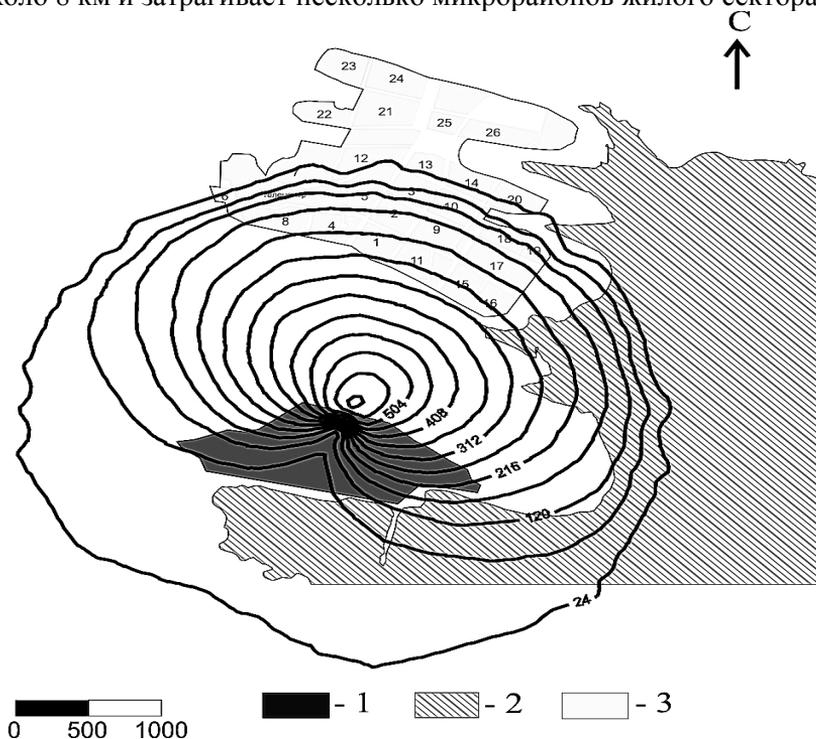


Рис. 1. Частота превышения ПДК бенз(а)пирена от БЛПК в январе:

1 – Братский лесопромышленный комплекс; 2 – водохранилище; 3 – жилой сектор с указанием микрорайонов.

Внешняя изолиния – 24 ч. Далее изолинии проведены с шагом 48 ч (двое суток)

Выброс такого вещества, как метилмеркаптан, согласно результатам, полученным по модели, формирует ареал загрязнения с превышением нормативной концентрации в 1 ПДК в среднем на расстоянии от предприятий более 100 км. Превышение 10 ПДК возникает в радиусе 15 км.

По результатам расчетов проведено зонирование города по длительности подверженности критическому воздействию вредных веществ и предложено выделить в жилом секторе Братска 4 зоны (рис. 2). Аналогичные расчеты проведены по ряду ингредиентов, входящих в состав выбросов промышленных предприятий.

Дадим краткую характеристику выделенным зонам (см. рис. 2) и рекомендуемым мероприятиям, направленным на улучшение экологической обстановки города.

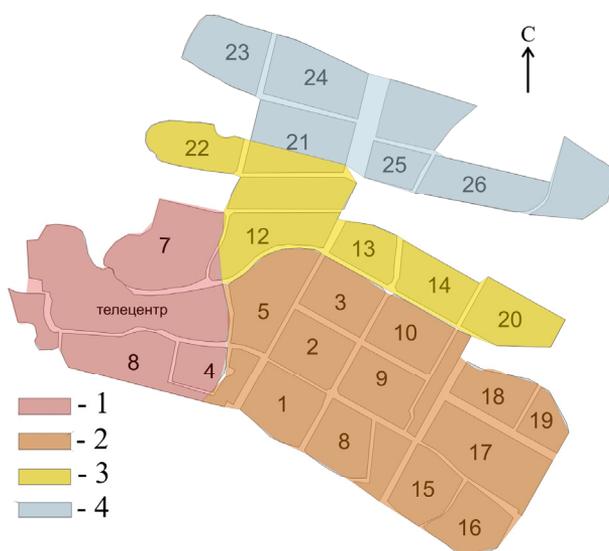


Рис. 2. Зонирование территории жилого сектора по длительности опасного воздействия загрязняющих веществ

Зона 1 и зона 2 – соответственно зоны максимального и повышенного воздействия. Эти зоны характеризуются соответственно наибольшим и значительным количеством часов, когда концентрации загрязняющих веществ превышают свои предельные допустимые нормы, вызывая повышенный риск здоровью населения, особенно детскому. Со стороны администрации города, управляющих органов и комитетов требуется пристальное внимание к рассматриваемым территориям. *Рекомендации:* предусмотреть проведение регулярных медицинских осмотров с целью раннего определения и своевременного лечения экологически обусловленных заболеваний, решить вопрос о переносе детских садов и поликлиник за пределы данных районов, повысить экологическую информирован-

ность населения; не допускать дальнейшее строительство жилых домов в данном районе; принимать меры, направленные на изменение технологического режима заводов в периоды с неблагоприятными метеорологическими условиями с целью сокращения поступления вредных веществ в воздушный бассейн.

Зона 3 – зона умеренного негативного воздействия повышенных концентраций вредных примесей, содержащихся в атмосфере города. *Рекомендации*: обеспечить повышение экологической информированности населения, допускать строительство офисных учреждений, магазинов, жилого сектора.

Зона 4 – относительно безопасного воздействия с невысокими фоновыми концентрациями примесей в атмосфере. *Рекомендации*: рассмотреть как зону с оптимальными условиями для строительства жилых домов, размещения детских садов, поликлиник, игровых площадок, домов творчества и развития детского населения; центров отдыха и т. д.

Согласно данным органов здравоохранения по Братску в течение уже долгого времени наблюдаются отрицательный естественный прирост населения, высокая заболеваемость детей, в несколько раз превосходящая подростковую, заболеваемость взрослых, нарушение репродуктивной функции женщин, значительные уровни онкологических заболеваний.

Для рабочего населения, занятого в промышленных областях, к производственно обусловленным патологиям можно отнести флюороз, остеопороз, остеосклероз – последствия повышенного содержания в воздухе фтористых соединений, заболевания органов дыхания и сердечно-сосудистой системы – последствия воздействия высоких концентраций окислов серы, азота, углерода, сернистых соединений, сероводорода, хлорорганических соединений. Анализ данных по заболеваемости населения города за последние пять лет показывает стабильно высокие показатели по этим группам.

Если говорить о взаимосвязи степени загрязнения атмосферы города и заболеваемости, то в первую очередь необходимо отметить детей, наиболее чувствительных к воздействию химических ингредиентов, приводящих к экологически обусловленным заболеваниям. К 2003 г. по сравнению с 1997 г. детская заболеваемость населения г. Братска возросла почти на 50 %. В структуре детской заболеваемости преобладают болезни органов дыхания.

Выводы

В результате проведенных расчетов по различным ингредиентам выявлены наиболее опасные (с точки зрения нарушений ПДК) зоны загрязнения местности, в которые попадают жизненно важные объекты. Для этих территорий составлены рекомендации городским службам и заинтересованным организациям по улучшению экологической обстановки города.

Прогнозные расчеты и оценка воздействия загрязняющих веществ на здоровье населения могут служить основой для картирования местности по степени ее загрязнения.

Возможности модели и получаемые результаты могут быть использованы для создания экологического паспорта города.

Список литературы

1. Моделирование и управление процессами регионального развития / А. В. Аргучинцева [и др.]. – М. : Физматлит, 2001. – 431 с.
2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2002 году / отв. ред. И. Н. Корзун ; Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Иркутской области. – Иркутск, 2004. – 323 с.
3. Информационный бюллетень за 2003 г. // Состояние работ по прогнозу загрязнения воздуха в городах РФ. – СПб. : Гидрометеоиздат, 2005. – 53 с.
4. Колмогоров А. Н. Об аналитических методах в теории вероятностей // Успехи математических наук. – 1938. – Вып. 5. – С. 5–41.
5. Леонтович М. А. Введение в термодинамику. Статистическая физика / М. А. Леонтович. – М. : Наука, 1983. – 416 с.
6. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: Общесоюзный нормативный документ (ОНД-86) / науч. рук. М. Е. Берлянд. – Л. : Гидрометеоиздат, 1987. – 93 с.
7. Миронов Г. Б. Заболевания органов дыхания: профилактика / Г. Б. Миронов. – М. : Знание, 1990. – 310 с.

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».

The estimation of the anthropogenic pollution of city atmosphere (by the example of Bratsk)

A. V. Arguchintseva, O. V. Stashok

Abstract. The article is devoted to the problem of atmospheric pollution. We give the results of the statistical processing of the meteorological parameters which are typical for Bratsk, data from the tracking stations for the atmospheric air state, information on the inhabitants' sickness rate. By mathematic models the calculations of the fouling factor of the urban-industrial environment by main industrial enterprises.

Key words: atmosphere, sources, pollution, meteorological parameters, simulation, estimation, disease of the population.

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

*Сташок Ольга Владимировна
Братский государственный университет
665709, г. Братск, ул. Макаренко, 40
старший преподаватель
кафедры дискретной математики
тел.: (395-3) 33-20-08*