



УДК 504.3.054 (571.53)

## **Загрязнение атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий Иркутской области**

А. В. Ахтиманкина

*Иркутский государственный университет*

**Аннотация.** Цель работы – оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха, создаваемого выбросами стационарных источников промышленных предприятий с учетом климатических условий местности. В качестве входной информации использовались инвентаризационные данные 20 тыс. стационарных источников поступления загрязняющих веществ и 8-срочные наблюдения метеостанций, расположенных на территории 22 населенных пунктов области за период с 1995 по 2014 г. Расчет абсолютных концентраций загрязняющих веществ осуществлялся с использованием стандартной эмпирической модели, основанной на методике ОНД-86 и реализованной программным комплексом «Эколог». Для нахождения частот превышения гигиенических нормативов загрязняющих веществ применялась полуэмпирическая математическая модель, построенная на аналитическом решении уравнения переноса и турбулентной диффузии примеси с замыканием на интегральную функцию распределения двумерного вектора скорости ветра. Расчет уровней атмосферного загрязнения произведен для двух периодов – зимнего и летнего. Согласно расчетам приоритетными вредными веществами с точки зрения создания высоких уровней загрязнения атмосферы на территории Иркутской области являются: диоксиды азота и серы, сажа, неорганическая пыль с содержанием двуоксида кремния 20–70 % и менее 20 %, оксид азота, бенз(а)пирен, мазутная зола, а также ряд специфических загрязняющих веществ, среди которых формальдегид, фториды, сероводород и другие вещества. На селитебных территориях области концентрации ряда загрязняющих веществ в 10–20 раз превышают установленные для них нормативы, а продолжительность воздействия на живые организмы и окружающие ландшафты загрязняющих веществ, концентрации которых превышают гигиенические нормативы, достигает 600–700 часов в месяц. С целью графического представления результатов расчетов построены карты-схемы изолиний абсолютных концентраций загрязняющих веществ и частот превышения санитарно-гигиенических нормативов с помощью программных средств Surfer и Quantum GIS.

**Ключевые слова:** загрязнение атмосферного воздуха, промышленные предприятия, математическое моделирование, загрязняющие вещества, гигиенические нормативы.

### **Введение**

В настоящее время загрязнение атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий охватывает значительные по площади территории – от городов и городских агломераций до целых регионов. Остро стоит проблема загрязнения атмосферного воздуха и в Иркутской области – реги-

оне, являющемся индустриальным центром Восточной Сибири. Обладая значительными запасами природных ископаемых, Иркутская область занимает лидирующие позиции среди других регионов Сибирского федерального округа в химическом и металлургическом производстве, машиностроении, добыче полезных ископаемых, производстве электроэнергии, алюминия, целлюлозы. Такое разнообразие производственных отраслей, присутствующих на территории области, отражается и на разнообразии оказываемого воздействия на окружающую среду, и в первую очередь атмосферный воздух.

Согласно статистическим данным, ежегодно публикуемым Министерством природных ресурсов, Иркутская область занимает пятое место (по данным за 2016 г.) среди остальных 84 субъектов РФ по объему выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (825,9 тыс. т), уступая по этому показателю Красноярскому краю, Кемеровской области и др. Стоит отметить, что на протяжении последних шестнадцати лет наибольшая часть выбросов приходится на стационарные источники (более 77 %), выбросы же от передвижных источников составляют чуть более 20 % от общего объема поступающих в атмосферу загрязняющих веществ [8].

Наиболее экологически неблагоприятными являются крупные промышленные центры области, такие как Ангарск, Братск, Шелехов, Зима. Данные населенные пункты на протяжении более 10 лет ежегодно входят в Приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения, формируемый по величине индекса загрязнения атмосферы (ИЗА). Иркутск также входил в список на протяжении длительного периода времени, однако в 2015 г. был исключен.

В связи с этим важным является вопрос диагностики и прогнозирования уровней атмосферного загрязнения с целью разработки рекомендаций по совершенствованию производственных технологий и принятию необходимых мер по снижению нагрузки на атмосферу.

Особое внимание следует уделять основному источнику поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух на территории Иркутской области – стационарным источникам промышленных предприятий, выбросы которых потенциально могут оказывать негативное воздействие как на окружающую среду, так и на население.

В настоящее время наблюдения за содержанием загрязняющих веществ ведутся на постах слежения за состоянием атмосферного воздуха. Стоит отметить, что получаемые в ходе выполняемой измерительной кампании результаты не дают полной картины загрязненности воздуха, поскольку представляют лишь значения концентраций отдельных компонентов состава воздуха при ограниченном числе наблюдений либо в локальной точке местности.

Кроме регулярных систематических наблюдений, проводимых в рамках мониторинга загрязнения атмосферного воздуха Иркутской области, существует ряд исследований, посвященных изучению загрязнения воздушного бассейна отдельными крупными промышленными объектами, расположенными на территории Иркутской области. Так, в работе Н. В. Сириной [10] рассчитано загрязнение атмосферного воздуха в результате деятельности

алюминиевого завода, расположенного в г. Шелехове. Работы, выполненные сотрудниками Лимнологического института СО РАН [4–6; 9], направлены на оценку загрязнения путем исследования химического состава атмосферных выпадений.

Наиболее показательным для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха является расчет абсолютных концентраций загрязняющих веществ в атмосфере, а также определение (с учетом климатических особенностей местности) продолжительности воздействия на окружающие ландшафты и население опасных концентраций примесей.

### **Характеристика стационарных источников промышленных предприятий Иркутской области**

В динамике выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от совокупности стационарных и передвижных источников, расположенных на территории субъектов, включенных в Сибирский федеральный округ, Иркутская область занимает третье место, уступая по этому показателю Красноярскому краю и Кемеровской области.

Большая часть выбросов (от 60 до 80 %) приходится на стационарные источники промышленных предприятий. Ежегодно в атмосферный воздух от данных источников поступает более 500 тыс. т загрязняющих веществ. В период с 2003 по 2015 г. отмечается неуклонный рост выбросов с небольшими колебаниями [3; 8].

Общая динамика количества промышленных предприятий и находящихся на их балансе стационарных источников выбросов загрязняющих веществ, зарегистрированных на территории Иркутской области, показывает увеличение их числа за девятнадцатилетний период. По состоянию на 2015 г. в области насчитывается более 700 промышленных объектов и около 22 тыс. стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха.

Что касается распределения выбросов по городам Иркутской области, то первое место по количеству выбрасываемых в атмосферный воздух загрязняющих веществ занимает Ангарск. На его территории расположено более 3 тыс. стационарных источников загрязнения, принадлежащих таким крупнейшим в области предприятиям, как ОАО «Ангарская нефтехимическая компания» (ОАО «АНХК»), ТЭЦ-10, Завод низковольтных комплексных устройств и т. д. На втором месте по ежегодной массе выброса находится г. Братск с расположенными на его территории Братским алюминиевым заводом (ОАО «Русал БрАЗ»), насчитывающим около 500 стационарных источников и поставляющим более 110 тыс. т поллютантов. Административный центр области – г. Иркутск с такими крупными промышленными объектами, как ОАО «Корпорация Иркут», Ново-Иркутская ТЭЦ, ЗАО «Байкалэнерго», занимает третье место по массе ежегодно выбрасываемых загрязняющих веществ. На территории г. Иркутска около 2 тыс. стационарных источников, выброс от которых в 2015 г. составил более 60 тыс. т. Еще один промышленный центр – г. Шелехов – на четвертой позиции. На его территории расположены примерно 700 источников, принадлежащих Иркутскому алюми-

ниевому заводу (ОАО «ИрКАЗ-СУАЛ»), ЗАО «Кремний», ТЭЦ-5 и другим крупным предприятиям. Масса выброса от предприятий Шелехова в 2015 г. составила более 30 тыс. т. Далее в порядке убывания располагаются города Усть-Илимск, Саянск, Усолье-Сибирское, Черемхово, Зима с массой выброса загрязняющих веществ 33,1 тыс. т, 30,9 тыс. т, 22,9 тыс. т, 6,3 тыс. т и 1,1 тыс. т соответственно [3; 7].

Среди отраслей промышленности наибольшее количество выбросов приходится на производство и распределение электроэнергии, газа и воды, представленное предприятиями ОАО «Иркутскэнерго», ЗАО «Байкалэнерго» и др.; обрабатывающие производства, среди которых ОАО «АНХК», ОАО «Саянскхимпласт», ОАО «Группа «Илим»; металлургические производства и производства готовых металлических изделий, к которым относятся предприятия ОАО «ИрКАЗ-СУАЛ», ЗАО «Кремний», ОАО «Алюминий Сибири» [7].

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются предприятия – представители вышеперечисленных отраслей промышленности. Максимум выбросов загрязняющих веществ производит на крупнейшее предприятие энергетической отрасли – ОАО «Иркутскэнерго». В его состав входят: ангарский каскад ГЭС, 12 ТЭЦ, 1 котельная, работающая на твердом топливе, и 1 котельная, работающая на газе. В качестве топлива предприятием используются угли Иркутской области (Мугунского, Головинского, Черемховского, Азейского разрезов) и добываемые на территории Красноярского края (Ирша-Бородинского, Ирбейского разрезов), обладающие высокой зольностью и сернистостью и определяющие значительные выбросы загрязняющих веществ, которые в 2015 г. составили порядка 300 тыс. т. Вторым крупным источником поступления загрязняющих веществ в атмосферу является ОАО «Русал БрАЗ», стационарные источники которого в 2015 г. поставили более 80 тыс. т вредных веществ. Компания производит первичный алюминий путем электролиза криолитно-глиноземного расплава. На третьем месте с массой выброса более 20 тыс. т (зарегистрированной в 2015 г.) располагается ОАО «Ангарская нефтехимическая компания». Основная деятельность ОАО «АНХК» – подготовка сырой нефти (обезвоживание, обессоливание, очистка от механических примесей), ее переработка с получением легких и тяжелых нефтепродуктов, производство отдельных видов химической продукции, очистка газов от сероводорода. ОАО «ИрКАЗ-СУАЛ», специализирующееся на выпуске алюминия первичного, катанки электротехнической и сплавов на основе алюминия, в 2015 г. выбросило в атмосферу также более 20 тыс. т загрязняющих веществ. Пятерку предприятий-загрязнителей закрывает ОАО «Группа «Илим» – крупнейшее предприятие по комплексной переработке древесины, производящее сульфатную беленую хвойную и лиственную целлюлозу, тарный картон для плоских слоев гофрокартона, а также продукты лесохимической переработки [7].

Поскольку основной выброс от предприятий области приходится на объекты сферы энергетики, закономерным является тот факт, что в покомпонентном составе загрязняющих веществ преобладают продукты сгорания топлива, а именно: диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, углеводороды.

### Методы исследования

В качестве основного метода исследования применялось моделирование с использованием двух моделей – эмпирической и полуэмпирической.

*Эмпирическая модель* основана на методике ОНД-86. Данная методика является утвержденной на государственном уровне и используется при осуществлении нормативных расчетов как на стадии проектирования, так и на этапах функционирования предприятий, имеющих источники поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Методика позволяет рассчитать максимальную приземную концентрацию загрязняющего вещества ( $\text{мг/м}^3$ , доли ПДК):

$$C_m = \frac{AMFmn\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}},$$

где  $A$  – безразмерный коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеяния вредных веществ в атмосферном воздухе;  $M$  ( $\text{г/с}$ ) – количество загрязняющего вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени;  $F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость осаждения вредных веществ в атмосферном воздухе;  $m, n$  – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;  $\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности;  $H$  ( $\text{м}$ ) – высота источника выброса над уровнем земли;  $V_1$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) – поток газовой смеси;  $\Delta T$  ( $^\circ\text{C}$ ) – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси и температурой окружающего атмосферного воздуха.

Таким образом, методика учитывает параметры источников выброса, а также ряд метеорологических параметров и параметров, определяющих условия распространения загрязняющих веществ.

*Полуэмпирическая модель* основана на аналитическом решении уравнения переноса и турбулентной диффузии примеси:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u \frac{\partial s}{\partial x} + v \frac{\partial s}{\partial y} + (w - w_g) \frac{\partial s}{\partial z} + \alpha s = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial s}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial s}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial s}{\partial z} + f(x, y, z, t),$$

где  $s$  ( $\text{мг/м}^3$ ) – концентрация примеси,  $u, v, w$  ( $\text{м/с}$ ) – компоненты вектора скорости ветра, спроектированные на оси локальной декартовой системы координат  $x, y, z$  (оси  $x, y$  направлены по горизонтали, ось  $z$  – вертикально вверх),  $t$  ( $\text{с}$ ) – время,  $w_g$  ( $\text{м/с}$ ) – скорость гравитационного осаждения частиц,  $\alpha$  ( $\text{с}^{-1}$ ) – коэффициент распада примеси,  $k_x, k_y, k_z$  ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) – коэффициенты турбулентной диффузии по осям  $Ox, Oy, Oz$  соответственно,  $f$  – функция, описывающая источник примеси.

Особенностью используемой модели является возможность нахождения частоты превышения гигиенических нормативов, установленных для загрязняющих веществ, путем определения вероятности проявления пара-

метров среды – например, скоростей ветра, благоприятствующих превышению критерия качества атмосферного воздуха.

Модель применима для любой территории и различных типов промышленных предприятий при условии наличия набора входных параметров, необходимых для расчета, среди которых:

1) параметры источников выбросов загрязняющих веществ: интенсивность источника, координаты расположения, высота источника и др.;

2) метеорологические параметры за многолетний период и рассчитанные на их основе статистические характеристики, необходимые для нахождения многомерной функции плотности вероятности.

Расчеты произведены для двух периодов – летнего и зимнего, что обусловлено сменой метеорологических условий, влияющих на накопление и рассеяние загрязняющих веществ. В зимний период наблюдается наибольшая повторяемость штилей в совокупности с приземными инверсиями температур. Летний период характеризуется более благоприятными условиями для рассеяния поллютантов в связи с активизацией циклонической деятельности на территории области и снижением повторяемости инверсий [2].

### **Обсуждение результатов**

Согласно расчетам превышения выявлены по следующим веществам: диоксиду азота, диоксиду серы, саже, неорганической пыли с содержанием двуоксида кремния 20–70 % и менее 20 %, оксиду азота, бенз(а)пирену, мазутной золе, а также ряду специфических веществ.

Расчетные абсолютные концентрации загрязняющих веществ, поступающих с выбросами от стационарных источников промышленных предприятий, варьируются по территории области, но в целом указывают на превышение нормативов качества атмосферы (ПДК<sub>с.с.</sub>) в зимний период: по диоксиду азота в 2–20 раз; диоксиду серы – в 1,5–20 раз; пыли неорганической (с содержанием кремния 20–70 %) – в 1,2–20 раз, с содержанием кремния менее 20 % – в 1,2–10 раз; оксиду азота – 3–20 раз, бенз(а)пирену – 10–20 раз; мазутной золе – 7,4–20 раз.

Расчет частот превышения установленных для загрязняющих веществ нормативов показал, что продолжительность действия концентраций, превышающих норматив ПДК<sub>с.с.</sub>, в декабре составляет: по диоксиду азота – от 12 до 717 ч (в зависимости о территории); диоксиду серы – 22–720 ч; саже – 12–712 ч; пыли неорганической с содержанием кремния 20–70 % – 12–460 ч, с содержанием кремния менее 20 % – 12–700 ч.; оксиду азота – 12–720 ч; бенз(а)пирену – 12–750 ч; мазутной золе – 12–588 ч.

Расчетные абсолютные концентрации и частоты превышения норматива ПДК<sub>с.с.</sub>, создаваемые выбросами стационарных источников промышленных предприятий в летний период, имеют меньшие значения в сравнении с данными, полученными для зимних месяцев, что объясняется, во-первых, снижением выбросов от промышленных предприятий, в частности объектов теплоэнергетики, имеющих наибольший вклад в выбросы на территории Иркутской области, во-вторых, сменой метеорологических условий, благоприятствующих рассеянию загрязняющих веществ [1; 2].

Представим отдельные результаты, в частности по диоксиду азота. Согласно проведенным расчетам концентрации, превышающие нормативные значения, создаются на территории Иркутска, Ангарска, Шелехова, Саянска, Зимы, Усть-Илимска, Братска, Тулуна, Железногорска-Илимского, Черемхово (табл. 1).

Таблица 1  
Максимальные концентрации диоксида азота в населенных пунктах Иркутской области

Населенный пункт	Максимальная концентрация, доли ПДК <sub>с.с.</sub> (0,04 мг/м <sup>3</sup> )	
	Зимний период	Летний период
Иркутск	9	8
Ангарск	20	10
Шелехов	20	10
Саянск	1	0,7
Зима	5	5
Усть-Илимск	6,86	0,61
Тулун	5	3
Братск	20	10
Железногорск-Илимский	20	10
Черемхово	2	1,5

Максимальные концентрации, составляющие 20 ПДК<sub>с.с.</sub>, отмечаются в зимний период в местах расположения крупных промышленных объектов области. Например, такие концентрации получены в Ангарске, Шелехове, Братске, на территориях которых размещены Ангарский нефтехимический комбинат, Иркутский алюминиевый завод, Братский алюминиевый завод соответственно. В Иркутске выбросы от стационарных источников локализуются над городом и создают концентрации, превышающие установленные нормативы для селитебных зон по диоксиду азота в 9 раз (рис. 1). Данный максимум отмечен в северной части города, в районе расположения крупного промышленного предприятия – Иркутского авиационного завода. Максимальные концентрации диоксида азота на территории Ангарска и Шелехова составляют 20 ПДК<sub>с.с.</sub> и отмечаются в промышленных зонах городов. Селитебная территория г. Ангарска подвержена воздействию концентраций, достигающих значения 9 ПДК<sub>с.с.</sub> (рис. 2), в г. Шелехове максимальная концентрация на территории проживания населения, согласно расчетам, составила 2 ПДК<sub>с.с.</sub> (рис. 3).

Что касается частот превышения, то анализ результатов указывает на то, что данные территории и проживающее на них население подвергаются воздействию повышенных концентраций от 610 до 717 ч, или 25–29 дней, в месяц (табл. 2).

В Шелехове максимальная частота превышения составляет 610 ч (25 дней) и наблюдается, как правило, вблизи источников загрязнения. В целом вся промышленная территория города подвергается воздействию повышенных концентраций в течение 228 ч (9 дней) и более, а селитебная зона – от 48 до 216 ч (от 2 до 9 дней) в месяц (рис. 4).

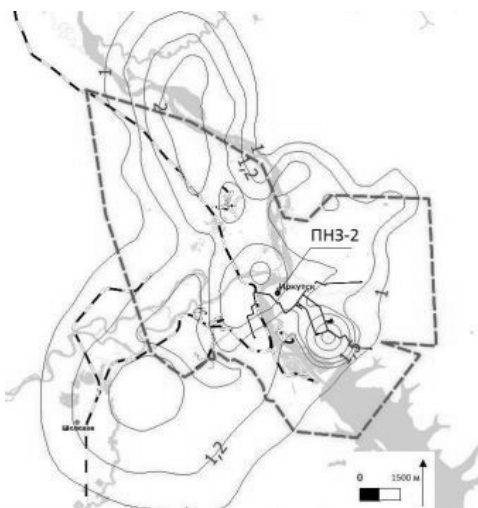


Рис. 1. Карта-схема изолиний абсолютных концентраций диоксида азота в зимний период на территории г. Иркутска

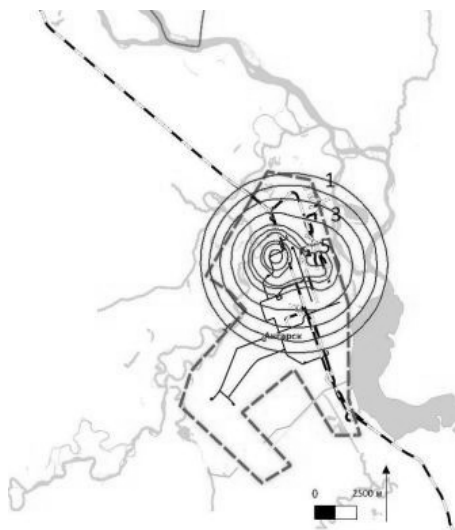


Рис. 2. Карта-схема изолиний абсолютных концентраций диоксида азота в зимний период на территории г. Ангарска

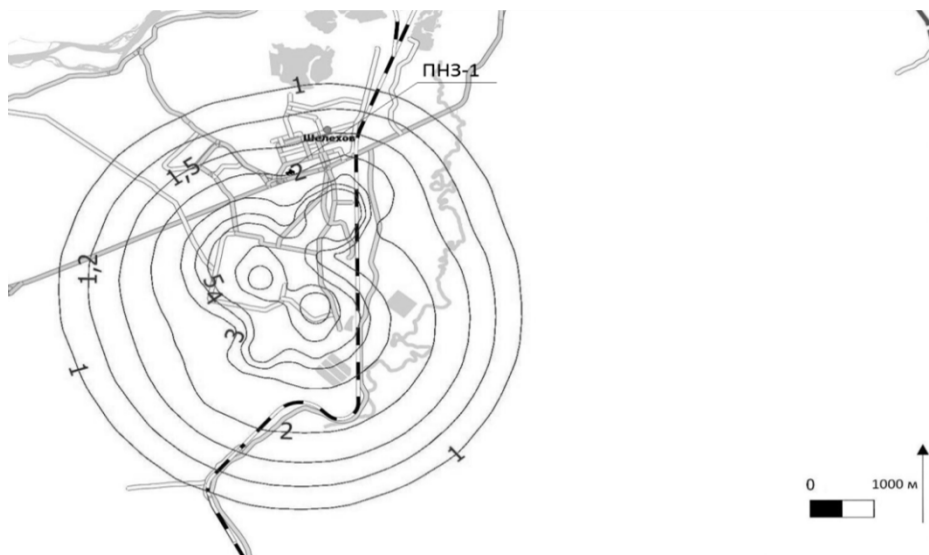


Рис. 3. Карта-схема изолиний абсолютных концентраций диоксида азота в зимний период на территории г. Шелехова

В Ангарске максимальная частота превышения ПДК<sub>с.с</sub> диоксида азота составляет 717 ч (29 дней) в месяц и наблюдается также вблизи источников загрязнения атмосферы, расположенных в специально отведенной промышленной зоне (рис. 5). Жилая зона, расположенная на севере города и в его центральной части, в непосредственной близости к промплощадке, находит-



ся под воздействием повышенных концентраций диоксида азота в течение 248 ч (10 дней) в месяц. Вся остальная территория подвергается влиянию в течение более 144 ч (6 дней) в месяц. Причем концентрации диоксида азота распространяются за пределы границ города. Анализ результатов расчетов частот превышения ПДК<sub>с.с</sub> на территории Иркутска показал, что повышенные концентрации диоксида азота распространяются на территории, расположенные за границами города, а частота превышения этих концентраций составляет 48 ч (2 сут.) в месяц (рис. 6). Максимум, составляющий 449 ч (18 дней) в месяц, наблюдается, так же как и максимум абсолютной концентрации, в северной части города.

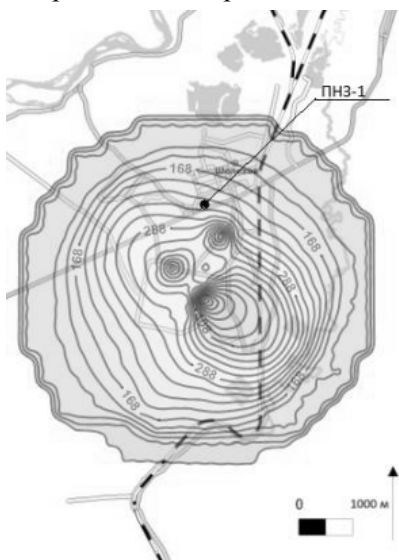


Рис. 4. Карта-схема изолиний частот превышения ПДК<sub>с.с</sub> (0,04 мг/м<sup>3</sup>) диоксида азота в декабре на территории г. Шелехова

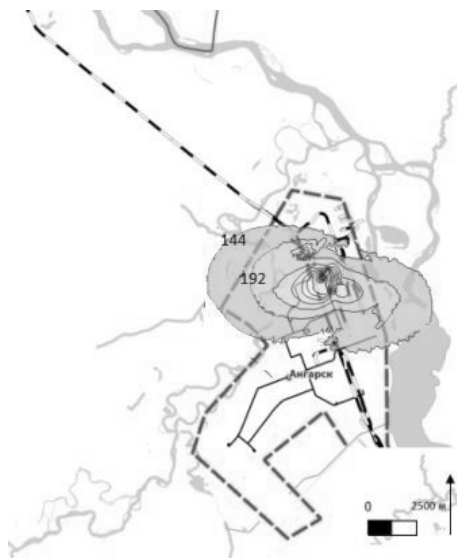


Рис. 5. Карта-схема изолиний частот превышения ПДК<sub>с.с</sub> (0,04 мг/м<sup>3</sup>) диоксида азота в декабре на территории г. Ангарска

Таблица 2

Частоты превышения ПДК<sub>с.с</sub> диоксида азота в населенных пунктах Иркутской области

Населенный пункт	Максимальная частота превышения ПДК <sub>с.с</sub> (0,04 мг/м <sup>3</sup> ), в часах	
	В декабре	В июле
Иркутск	449	362
Ангарск	717	697
Шелехов	610	500
Саянск	51	28
Зима	267	234
Усть-Илимск	Менее 12	-
Тулун	70	38
Братск	700	700
Железногорск-Илимский	650	580
Черемхово	27	15

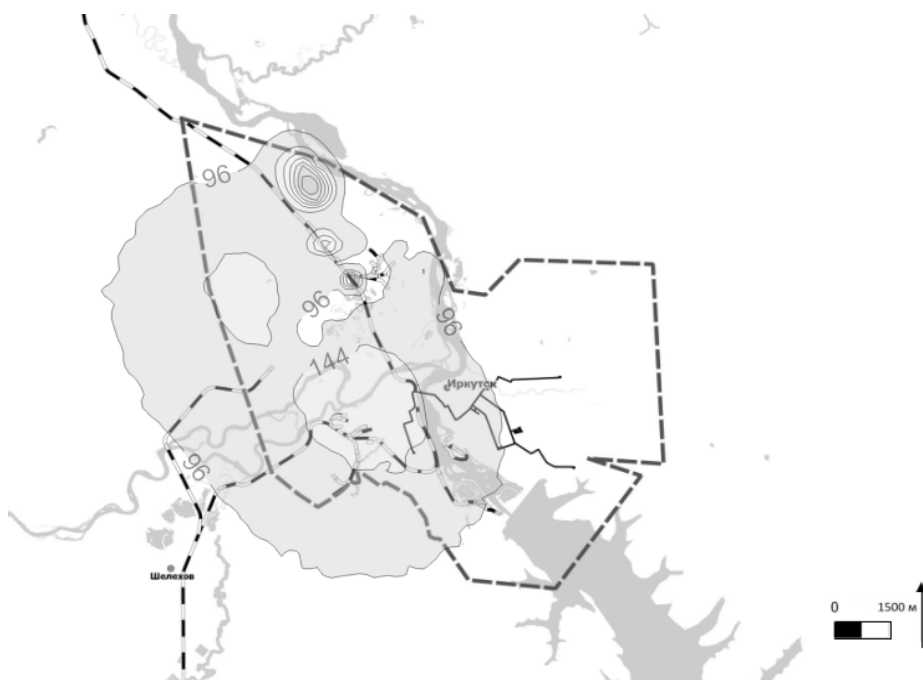


Рис. 6. Карта-схема изолиний частот превышения ПДК<sub>с.с</sub> (0,04 мг/м<sup>3</sup>) диоксида азота в декабре на территории г. Иркутска

## Выводы

В результате деятельности основных источников поступления загрязняющих веществ на территории Иркутской области – промышленных предприятий создаются концентрации, значительно превышающие установленные для них нормативы. Одним из инструментов, посредством которого возможно осуществление контроля качества атмосферного воздуха, выявление нарушений в соблюдении установленных для предприятий нормативов предельно допустимых выбросов, является организация репрезентативной сети наблюдений, включающей подфакельные посты, в местах наибольших значений концентраций, а также частот превышения, установленных для поллютантов гигиенических нормативов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00185 мол\_а и гранта Иркутского государственного университета № 091-16-224.*

## Список литературы

1. Аргучинцева А. В. Загрязнение атмосферного воздуха предприятиями теплоэнергетики г. Иркутска / А. В. Аргучинцева, И. Г. Годвинская, А. В. Ахтиманкина // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 33–47.

2. Ахтиманкина А. В. Исследование рассеивающей способности атмосферы Иркутской области / А. В. Ахтиманкина // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2016. – Т. 15, № 2. – С. 15–27.

3. Вологжина С. Ж. Оценка экологического состояния атмосферного воздуха Южного Прибайкалья / С. Ж. Вологжина А. В. Ахтиманкина // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2013. – Т. 6, № 2. – С. 76–88.

4. Макухин В. Л. Исследование процессов распространения, трансформации и осаждения соединений фосфора, фтора и серы в районе г. Братск / В. Л. Макухин, Н. И. Янченко, А. Н. Баранов // Оптика атмосферы и океана. – Томск : Ин-т оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, 2010. – Т. 23, № 6. – С. 525–526.

5. Многолетние исследования атмосферных выпадений в г. Иркутске / И. И. Маринайте, Л. П. Голобкова, О. Г. Нецветаева, У. Г. Филиппова, Т. М. Агупова // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2013. – Т. 6, № 2. – С. 138–147.

6. Нецветаева О. Г. Мониторинг химического состава снежного покрова как основа прогнозирования качества атмосферы в регионе озера Байкал / О. Г. Нецветаева, Е. В. Чипанина, И. И. Маринайте // Экологический риск и экологическая безопасность : материалы III Всерос. науч. конф. с междунар. участием (г. Иркутск, 24–27 апр. 2012 г.). – Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2012. – С. 106–108.

7. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2015 г. [Электронный ресурс] : гос. докл. – URL: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture/>.

8. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 г. : гос. докл. [Электронный ресурс]. – URL: <http://mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=286341>.

9. Онищук Н. А. Элементный состав атмосферных выпадений на Байкальской природной территории / Н. А. Онищук, Т. В. Ходжер // Оптика атмосферы и океана. – 2009. – Т. 22, № 6. – С. 579–584.

10. Сирина Н. В. Оценка воздействия на атмосферный воздух предприятий алюминиевой промышленности / Н. В. Сирина // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2008. – Т. 1, № 1. – С. 181–188.

## Air Pollution Caused by Emissions of Industrial Enterprises of Irkutsk Region

A. V. Akhtimankina

*Irkutsk State University*

**Abstract.** The aim of investigation is assessment of air pollution level created by the emissions of stationary sources of industrial enterprises, taking into account climatic conditions of study territory. As input information was used inventory data of 20 000 stationary sources of industrial enterprises and data of the 8-term observations of meteorological stations, located on the territory of 22 settlements for period 1995–2014. The calculation of absolute concentrations of contaminants was performed using standard empirical model based on the OND-86 and applied in software «Ecology». To determine the frequency of exceeding hygienic standards of pollutants was used semi-empirical mathematical model that takes into account the climatic features of the area and based on the analytical solution of the transport equation and the turbulent diffusion of impurities with the closure on the Integral Distribution Functions of two-dimensional vector wind velocity. The calculation of air pollution was carried out for the two most important period: winter and summer. Priority harmful substances, in terms of creating high levels of pollution in the territory of the Irkutsk region, are: nitrogen dioxide and sulfur dioxide, carbon black, inorgan-

ic dust with a silicon content of 20–70 % and less than 20 %, nitrogen oxide, benzo(a)pyrene, oil ash, as well as a number of specific pollutants, such as formaldehyde, fluoride, hydrogen sulfide, and others substances. On the residential areas of the Irkutsk region concentrations of some pollutants in the 10–20 times higher than the standards set for them, and the exposure duration on living organisms and surrounded area of pollutants whose concentrations exceed the hygienic standards, reaches 600–700 hours per month. In purpose of graphical representation of calculated results was constructed schematic maps of isolines of absolute concentrations of pollutants and frequencies of exceeding hygienic standards with using software Surfer and Quantum GIS.

**Keywords:** air pollution, industrial enterprises, mathematical modeling, harmful substances, hygienic standards.

### References

1. Arguchintseva A.V., Godvinskaya I.G., Akhtimankina A.V. *Zagryaznenie atmosfernogo vozdukhа predpriyatiyami teploenergetiki g. Irkutskа*. Air pollution caused by Irkutsk powerplants. [The Bulletin of Irkutsk State University. Series “Earth Sciences”]. Irkutsk, Irkutsk State University, 2011, vol. 4, no 1, pp. 33-47 (in Russian).
2. Akhtimankina A.V. *Issledovanie rasseivajushhej sposobnosti atmosfery Irkutskoj oblasti*. Investigation of the scattering ability of the atmosphere in the Irkutsk region. [The Bulletin of Irkutsk State University. Series “Earth Sciences”]. Irkutsk, Irkutsk State University, 2016, vol. 15, no 2, pp. 15-27 (in Russian).
3. Vologzhina S. Zh., Akhtimankina A.V. The assessment of the ecological state of the air of the Southern Baikal Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya atmosfernogo vozdukhа Yuzhnogo Priбайkal'ya [The Bulletin of Irkutsk State University. Series “Earth Sciences”]. Irkutsk, Irkutsk State University, 2013, vol. 6, no 2, pp. 76-88 (in Russian).
4. Makuhin V.L., Janchenko N.I., Baranov A.N. *Issledovanie processov rasprostraneniya, transformacii i osazhdeniya soedinenij fosforа, flora i sery v rajone g. Bratsk*. Study of the processes of distribution, transformation and precipitation of phosphorus, fluorine and sulfur compounds in the region of Bratsk. *Optics of the atmosphere and ocean*. Tomsk, Institute of atmosphere optics V.E. Zueva SB RAS, 2010, vol. 23, no 6, pp. 525-526 (in Russian)
5. Marinajte I.I. Golobkova L.P., Necvetaeva O.G., Filippova U.G., Agupova T.M. *Mnogoletnie issledovaniya atmosfernih vypadenij v g. Irkutskе*. Long-term studies of atmospheric deposition in Irkutsk. [The Bulletin of Irkutsk State University. Series “Earth Sciences”]. Irkutsk, Irkutsk State University, 2013, vol. 6, no 2, pp. 138-147 (in Russian).
6. Necvetaeva O.G., Chipanina E.V., Marinajte I.I. *Monitoring himicheskogo sostava snezhnogo pokrova kak osnova prognozirovaniya kachestva atmosfery v regione ozera Bajkal*. Monitoring of the chemical composition of the snow cover as a basis for forecasting the quality of the atmosphere in the Lake Baikal region. [Materials of the III All-Russian Scientific Conference with international participation. “Environmental risk and environmental safety”, Irkutsk, 24-27 April 2012]. Irkutsk, Institute of Geography SB RAS, 2012, pp. 106-108 (in Russian).
7. *Gosudarstvennyj doklad “O sostojanii i ob ohrane okružhajushhej sredy v Irkutskoi oblasti v 2015 godu”*. State report “About condition and protection of environment in Irkutsk region in 2015”. Available at: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture/>. (in Russian).
8. State report “About condition and protection of environment in Russian Federation in 2015” *Gosudarstvennyj doklad “O sostojanii i ob ohrane okružhajushhej sredy v Rossijskoj federacii v 2015 godu”*. Available at: <http://mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=286341>. (in Russian).
9. Onishhuk N.A., Hodzher T.V. *Jelementnyj sostav atmosfernih vypadenij na Bajkal'skoj prirodnoj territorii*. Elemental composition of atmospheric deposition in the Baikal natural territory. *Optics of the atmosphere and ocean*. Tomsk, Institute of atmosphere optics V.E. Zueva SB RAS, 2009, vol. 22, no 6, pp. 579-584 (in Russian).

10. Sirina N.V. Assessment of the impact on the air of enterprises of the aluminum industry *Ocenka vozdeystvija na atmosferyj vozduh predprijatij aljuminievoj promyshlennosti* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series "Earth Sciences"]. Irkutsk, 2008, vol. 1, no 1, pp. 181-188 (in Russian).

*Ахтиманкина Анастасия Владимировна*  
*старший преподаватель*  
*Иркутский государственный университет*  
*664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1*  
*тел.: (3952) 52-10-72*  
*e-mail: anastasiya.ahtimankina@mail.ru*

*Akhtimankina Anastasiia Vladimirovna*  
*Senior Lecturer*  
*Irkutsk State University*  
*1, K. Marx, Irkutsk, 664003*  
*tel.: (3952) 52-10-72*  
*e-mail: anastasiya.ahtimankina@mail.ru*