



УДК 504.3.054(571.53)

Загрязнение атмосферного воздуха промышленными предприятиями г. Иркутска

А. В. Ахтиманкина (anastasiya.ahcimankina@mail.ru)

А. В. Аргучинцева (arg@math.isu.ru)

Аннотация. На основе двух методик расчета загрязнения атмосферы дана оценка загрязнения атмосферного воздуха промышленными предприятиями г. Иркутска с учетом климатических особенностей местности.

Ключевые слова: промышленные предприятия, индекс загрязнения атмосферы, моделирование, предельные допустимые концентрации, атмосфера, климатические особенности.

Введение

На всех этапах своего развития человек всегда был тесно связан с окружающим миром. Антропогенное загрязнение, обусловленное жизнедеятельностью человека, до определенного периода сглаживалось процессами, происходящими в биосфере. Но, с тех пор как появилось высокоиндустриальное общество, опасное вмешательство человека в природу стало все интенсивнее и масштабнее. Количество химических элементов, вовлекаемых в промышленное производство, неуклонно возрастает. Если в начале XX в. загрязнение атмосферного воздуха рассматривалось как проблема дыма и связывалось с процессами сжигания твердого топлива, то сейчас атмосфера загрязняется, помимо этого, аэрозолями тяжелых и редких металлов, синтетическими соединениями, не существующими в природе, что делает проблему охраны атмосферного воздуха чрезвычайно сложной.

Выбросы источников промышленных предприятий и энергетических систем в атмосферу на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряде районов, особенно в крупных промышленных центрах, уровень загрязнения существенно превышает допустимые санитарные нормы.

Поэтому необходимо уметь диагностировать и прогнозировать уровень загрязнения атмосферного воздуха с целью разработки рекомендаций по совершенствованию производственных технологий и принятию необходимых мер по снижению нагрузки на атмосферу.

Объект исследования

Иркутск – административный центр Иркутской области, расположенный в долине р. Ангары, расчленен долинами впадающих в нее рек – Иркут и Ушаковка. Удаленность от отепляющего влияния океанов, открытость территории с севера для проникновения арктических воздушных масс формируют резко континентальный климат с весьма малым количеством осадков, большой повторяемостью штилевых и инверсионных ситуаций, особенно при господстве Азиатского антициклона в зимние месяцы. К тому же, на общий глобальный перенос воздушных масс большое влияние оказывает ориентация долины р. Ангары, обуславливающая реализацию основных преобладающих ветров северо-западного и юго-восточного направлений с повторяемостью их в годовом цикле 32 % и 28 % соответственно. Приподнятые инверсии создают как бы шапку над городом, в результате чего вредные примеси могут находиться в приземном слое длительный период времени.

Иркутск относится к городам с развитой промышленной инфраструктурой и, к сожалению, вошел в список (опубликованный Министерством природных ресурсов и экологии России в 2013 г.) 36 городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) в 2012 г. составил 15 (при ИЗА выше 14 уровень загрязнения считается очень высоким). С 2001 г. ИЗА не опускался ниже отметки 14 [2]. Это означает, что установленные нормы только для воздуха превышаются во много раз, а если принять во внимание воду, пищевые продукты и пр., то предельно допустимая нагрузка на живые организмы зашкаливает разумные пределы.

В статье рассматривается влияние на загрязнение атмосферного воздуха только приподнятых и площадных антропогенных источников. Влияние глобального переноса и автотранспорта не учитывается, хотя автопарк машин в городе, в котором постоянные автомобильные пробки, вносит по отдельным ингредиентам очень существенный вклад в загрязнение городской среды.

Производство города представлено предприятиями машино- и приборостроения, теплоэнергетики, строительных материалов, легкой и пищевой промышленности, которые практически равномерно распределены по административным округам, с тяготением к 5 промышленным узлам города (Северный и Жилкинский в Ленинском округе, Мельниковский в Свердловском округе, Восточный в Октябрьском округе, участок между улицами Сурнова и Рабочего Штаба в Правобережном округе). В городе более 250 промышленных предприятий, включающих около 3000 антропогенных источников. Они поставляют в атмосферу 113 (регистрируемых) наименований ингредиентов загрязняющих веществ, суммарный выброс которых составляет около 6 кг/с. Различные виды пыли от валового количества всех загрязняющих веществ, выбрасываемых стационарными источниками

г. Иркутска в год, составляют 13,8 % (0,8 кг/с), продукты сгорания топлива – 82,7 % (4,8 кг/с) и специфические вещества – 3,4 % (0,2 кг/с).

Ранее авторы предоставляли информацию о загрязнении атмосферы города источниками предприятий теплоэнергетики [1]. По основным загрязняющим веществам именно эти предприятия вносят ощутимый вклад в загрязнение городской среды (табл. 1).

Таблица 1

Оценка вклада источников теплоэнергетики в общую массу выбросов в атмосферу

Вещество	Масса выброса теплоисточников, г/с	Масса выброса всех предприятий, г/с	Вклад теплоисточников, %
Мазутная зола	2	2,54	79
Пропаналь	0,00042	0,026	1,6
Фенол	0,00056	10,35	0,005
Аммиак	0,0000002	0,59	3,4
Бенз(а)пирен	0,00045	0,00045	100
Диметиламин	0,0000002	0,0012	0,01
Взвешенные вещества	176	176	100
Сажа	90	98,4	91,5
Оксид азота	100	125	80
Диоксид серы	2900	3267	89
Диоксид азота	700	775	90,4
Пыль неорганическая с содержанием кремния более 70 %	600	629	95
Оксид углерода	300	405	74

Условия, при которых загрязняющие вещества поступают в атмосферу, неблагоприятны для рассеивания. Прежде всего, это низкие высоты труб (87 % всех источников имеют высоты труб до 15 м, 97 % – до 30 м, 99 % – до 45 м). Кроме того, газоочистными установками оснащены только около 15 % источников.

Методы исследования

Для количественной оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха использовались две методики:

1) общепринятая гостированная методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86) [3];

2) авторская математическая модель, основанная на решении дифференциального уравнения переноса и турбулентной диффузии примеси.

В качестве входных данных в модель для обеих методик использовались инвентаризационные данные о стационарных источниках загрязнения, расположенных на территории города: относительные координаты расположения источника, высота трубы, диаметр устья трубы, средняя скорость выхода газозадушной смеси и температура, интенсивность выброса. Кроме того, для математической модели эффективная высота трубы,

как сумма ее истинной геометрической высоты и некоторой добавочной высоты, на которую поднимается факел под влиянием его перегретости, начальной скорости выброса и условий температурной стратификации атмосферы.

Также для математической модели использовались данные многолетних восьмисрочных наблюдений, проводимых метеорологическими станциями и постами г. Иркутска.

Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86)

Гостированные методики, к которым относится методика ОНД-86 [3], используются ведомствами и организациями, осуществляющими разработки по разрешению, проектированию и строительству промышленных предприятий, нормированию вредных выбросов в атмосферу, а также промышленными предприятиями и проектными организациями при составлении «Томов предельно допустимых выбросов».

Степень опасности загрязнения атмосферного воздуха характеризуется наибольшим рассчитанным значением концентрации, соответствующим неблагоприятным метеорологическим условиям, в том числе опасной скорости ветра. Нормы не распространяются на расчет концентраций на дальние (более 100 км) расстояния от источников выброса.

Стоит отметить, что гостированные методики, сыграв свою положительную роль на первых этапах перехода к количественным методам оценки загрязнения атмосферы, имеют ряд недостатков, среди которых можно выделить следующие:

1. Симметричность расчета по секторам с выбранным шагом. Формально методика позволяет считать с любым шагом. Когда в расчете участвует несколько источников, визуальна картина выглядит правдоподобно, так как неоднородности в расчетах возникают за счет разной интенсивности источников. Если проводить расчеты для одиночного источника, можно увидеть, что в каждом секторе расчетного круга результаты одинаковы. Это говорит о том, что данную методику можно применять (в лучшем случае) только для штилевых ситуаций, хотя хорошо известен факт, что ветры различных направлений в зависимости от расположения предприятий могут существенно увеличить загрязнения в расчетной точке.

2. Некорректность учета стратификации атмосферы. Один и тот же коэффициент температурной стратификации (A) берется для слишком обширных территорий (например, его значение равно 200 для территории Восточной Сибири, районов Нижнего Поволжья, Кавказа, Дальнего Востока). Хотя общеизвестно, что температурная стратификация весьма изменчива не только по территории, но и в локальной точке в течение суток.

3. Для точечных источников, выбрасывающих частицы пыли, расчет гравитационной скорости осаждения в зависимости от размера частиц подменяется умножением значений концентраций на 2; 2,5; 3 в зависимости от степени очистки выбрасываемой пыли соответственно на 90 % и более, 75–90 или менее 75 %.

4. Пренебрежение морфометрическими характеристиками подстилающей поверхности. Влияние рельефа местности на значение максимальной приземной концентрации учитывается безразмерным коэффициентом рельефа местности. Значение коэффициента рельефа местности лежит в диапазоне от 1 до 4 и устанавливается на основе анализа картографического материала, освещающего рельеф местности в радиусе до 50 высот наиболее высокого из размещаемых на промплощадке источника, но не менее чем 2 км. Фактически происходит завышение концентраций, а не физический учет местности.

5. Из выполненных расчетов для данной точки выбирается результат с максимальной концентрацией, который может получиться при расчете с одной из скоростей, принадлежащей установленному интервалу. Следовательно, каждая расчетная точка поля загрязнений может не отвечать одной и той же скорости, что может не отражать действительную физическую картину.

Среди положительных сторон данной методики следует отметить простоту ее использования, а также то, что она позволила перейти от качественных к количественным методам оценки загрязнения атмосферы.

Математическая модель, основанная на аналитическом решении уравнения переноса и турбулентной диффузии примеси

Наиболее показательным с точки зрения учета климатических особенностей местности является расчет опасных концентраций примесей с точки зрения времени воздействия на окружающие ландшафты и проживающее население, а также нарушения установленных норм. Именно этим требованиям отвечает математическая модель, используемая в наших расчетах, позволяющая выявить области, подверженные наиболее интенсивному антропогенному загрязнению. Модель базируется на решении общепринятого уравнения переноса и турбулентной диффузии примеси, записанного в декартовой системе координат (XOY):

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + (\omega - \omega_g) \frac{\partial q}{\partial z} - \alpha q = \frac{\partial}{\partial x} \kappa_x \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \kappa_y \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \kappa_z \frac{\partial q}{\partial z},$$

где t – время; оси x, y направлены по горизонтали, ось z – вертикально вверх; q – концентрация загрязняющего вещества; u, v, ω – компоненты вектора скорости ветра соответственно по осям локальной декартовой системы координат x, y, z ; ω_g – скорость гравитационного осаждения частиц; α – коэффициент распада примеси, $\kappa_x, \kappa_y, \kappa_z$ – коэффициенты турбулентной диффузии по соответствующим осям.

Турбулентный перенос учитывается в рамках полуэмпирической модели путем введения коэффициентов турбулентного обмена по горизонтали и вертикали, причем диффузия учитывается лишь в поперечном (к ветру) направлении, так как в продольном направлении роль диффузии мала по сравнению с адвективным переносом. Детализация ветрового режима в каждой точке проводится методом оптимальной интерполяции с учетом

весовых коэффициентов расстояний от пунктов реальных наблюдений. Замыкание задачи проводится на функцию плотности распределения всех ветров по модулю и направлению, имевших место в рассматриваемый отрезок времени. Таким образом, для каждого направления ветра строится интегральная функция распределения на основе дифференциального закона распределения, и задача решается во вращающейся вслед за ветром системе координат. Такой подход позволил с учетом климатических особенностей местности выявить зоны нарушения установленных санитарно-экологических норм, оконтурить опасные с точки зрения нарушения установленных критериев области, оценить продолжительность пребывания в них, что является естественным критерием неблагоприятного воздействия на человека и различные биологические системы.

Результаты расчетов

По приведенным выше методикам были проведены расчеты для 113 веществ, поступающих в атмосферный воздух от всех промышленных предприятий г. Иркутска для трех периодов года: зимнего (декабрь), когда устанавливаются неблагоприятные метеорологические условия для рассеяния примесей в связи с наибольшей повторяемостью штилей и инверсий (приземных и приподнятых); весеннего (апрель), когда метеорологические условия благоприятствуют очищению атмосферного воздуха за счет активизации циклонической деятельности и летнего (июль), когда модуль скорости ветра понижается, а нагрузка на отопительные агрегаты заметно сокращается.

Для каждого вещества были построены карты расчетных среднемесячных концентраций в терминах нормированных значений относительно рассматриваемой среднесуточной предельно-допустимой концентрации (ПДК_{с.с.}) и карты частот превышения ПДК_{с.с.}.

Расчеты показали, что по ряду веществ могут иметь место в непосредственной близости от источников локальные превышения установленных для них нормативов, частоты превышения ПДК_{с.с.} (нормированные на количество часов в месяце) для них незначительны. Примерами таких веществ являются оксид азота, максимальная концентрация которого достигает 2 ПДК_{с.с.}, а частота превышения не более 28 ч в месяц; дисилин – с максимальной концентрацией 1,5 ПДК_{с.с.} и частотой превышения не более 14 ч в месяц, бенз(а)пирен и формальдегид – соответственно 2 ПДК_{с.с.} с частотой превышения около 30 ч в месяц. Наибольшие превышения установленных нормативов возможны по таким ингредиентам, как взвешенные вещества, диоксид азота, сажа, диоксид серы, мазутная зола, пыль неорганическая с содержанием кремния более 70 %, пыль неорганическая с содержанием кремния от 20 до 70 % и угольная зола (табл. 2). В летний период максимальные приземные концентрации снижаются (см. табл. 2), это объясняется прежде всего тем, что предприятия теплоэнергетики работают в основном только в режиме поставки горячей воды. Рассматривая частоту

превышения ПДК_{с.с.}, можно выявить определенные закономерности в ее изменении. Так, максимальная частота приходится на декабрь, минимальная – на апрель, в июле же она увеличивается по сравнению с апрелем, но не превышает значений, установленных в декабре. Все это объясняется влиянием метеорологических условий и режимом работы промышленных объектов, о которых было упомянуто ранее.

Таблица 2

Максимальные приземные концентрации и частоты превышения ПДК_{с.с.}

Наименование загрязняющего вещества	Предельно-допустимая среднесуточная концентрация, мг/м ³	Максимальная приземная концентрация, доли ПДК _{с.с.}		Максимальная частота превышения ПДК _{с.с.} , ч		
		в зимний период	в летний период	в декабре	в апреле	в июле
Взвешенные частицы РМ ₁₀ и менее	0,06	6,0	5,0	266	158	78
Азота диоксид	0,04	9,0	8,0	449	461	362
Сажа	0,05	10,0	5,0	372	251	311
Сера диоксид	0,05	10,0	7,0	714	648	598
Мазутная зола	0,002	9,5	5,0	390	367	365
Пыль неорганическая: SiO ₂ > 70 %	0,05	6,0	4,0	196	98	137
Пыль неорганическая: SiO ₂ > 20–70 %	0,1	7,0	5,0	95	41	78
Угольная зола	0,02	8,0	5,0	697	708	710

Примечание. РМ₁₀ – частицы с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм, которые в соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения во всех промышленно развитых странах рассматриваются как приоритетные загрязняющие вещества.

Надо отметить, что в России, к сожалению, используют в качестве ограничительных критериев (не считая ПДК рабочей зоны) только два вида ПДК: ПДК_{мах. раз.} – с периодом осреднения 20 мин, и ПДК_{с.с.} – с периодом осреднения 24 ч, хотя для постоянно проживающего в промышленной зоне населения было бы целесообразно ввести распространенные за рубежом более жесткие ПДК – с периодом осреднения декада, 1 месяц, 1 год. Так, например, для сравнения можно указать, что для РМ₁₀ при осреднении 20 мин, 24 ч и 1 год значения ПДК равны соответственно 0,3; 0,06; 0,04 мг/м³, а для РМ_{2,5} (аэродинамический диаметр менее 2,5 мкм) – соответственно 0,16; 0,035; 0,025 мг/м³. Модель расчета повторяемости опасных концентраций позволяет учитывать спектр выбрасываемых частиц, но, как правило, такую информацию предприятия не предоставляют.

На рис. 1 представлена карта абсолютных концентраций взвешенных частиц в зимний период. Концентрации приведены в долях ПДК_{с.с.}. Первая изолиния оконтуривает область, в которой концентрация по данному загрязняющему веществу составляет 1 ПДК_{с.с.}. Наибольшему влиянию повышенных концентраций (более 1,2 ПДК_{с.с.}) подвержен Правобережный район города. Максимальная концентрация достигает 6 ПДК_{с.с.} в районе предместья Рабочее, где концентрируются объекты теплоэнергетики.

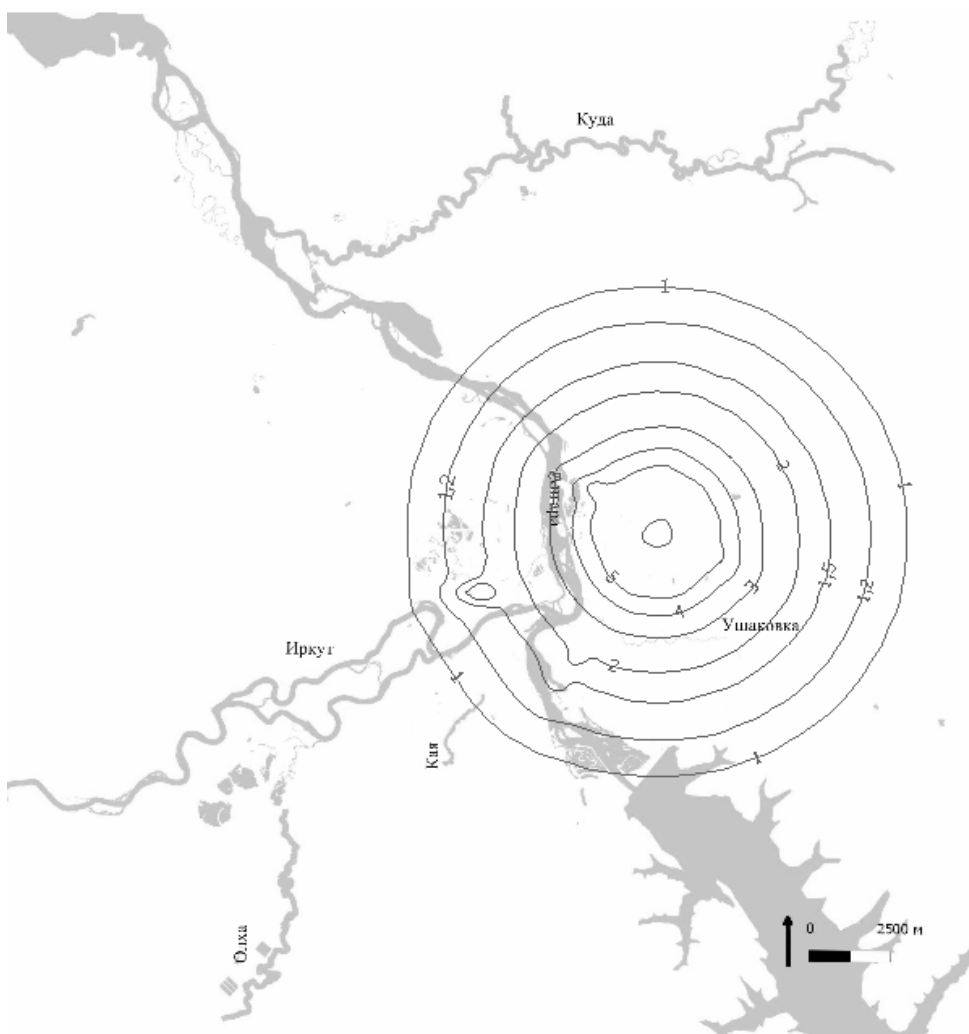


Рис. 1. Изолинии абсолютных концентраций взвешенных частиц в зимний период

На рис. 2 представлена карта частот превышения ПДК_{с.с.} взвешенных частиц в декабре. Первая изолиния соответствует 24 ч превышения гигиенического норматива. Каждая последующая изолиния проведена с шагом в 24 ч. Максимальная частота превышения по данному компоненту составляет 266 ч или 11 дней в месяц.

Взвешенные частицы относятся к 3-му классу опасности и обладают способностью накапливаться в легких, приводя их к поражению. Также взвешенные частицы являются причиной аллергических заболеваний, хронических заболеваний органов дыхания, заболеваний глаз и кожи.

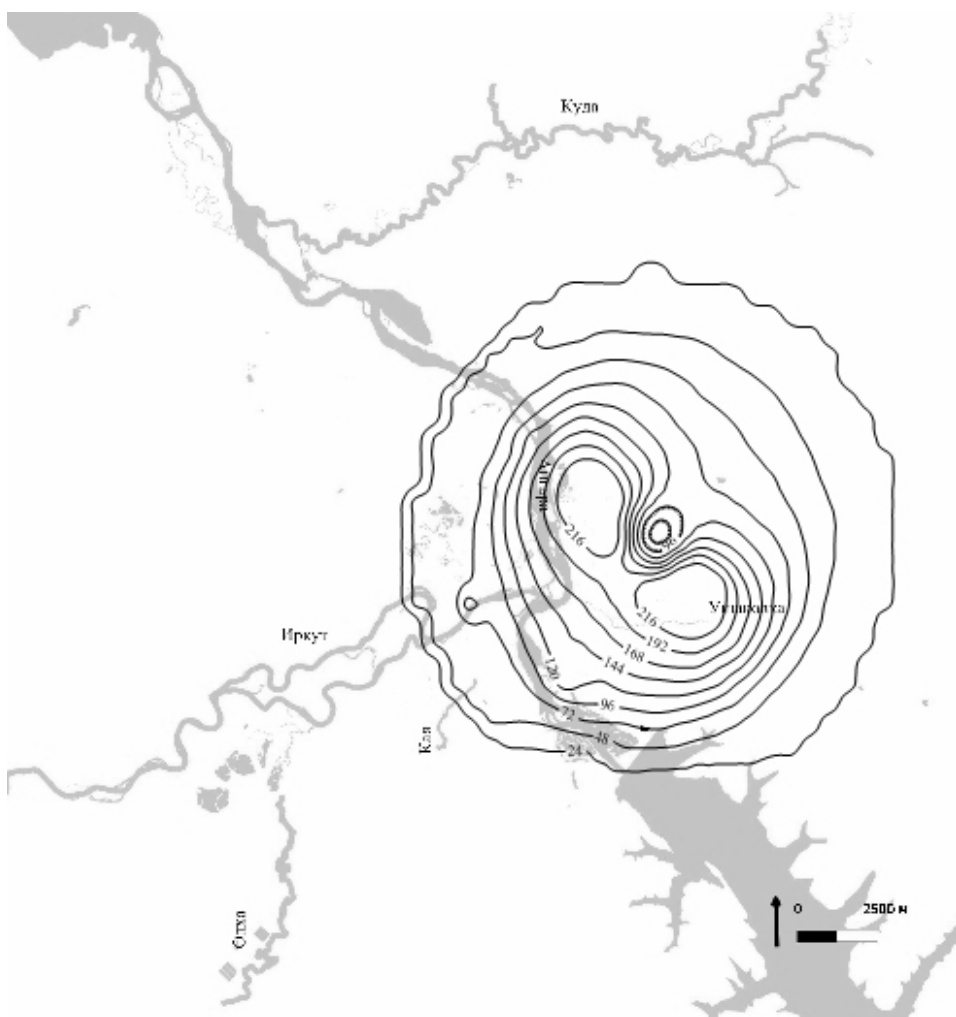


Рис. 2. Изолинии частот превышения ПДК_{с.с.} взвешенных веществ в декабре

На рис. 3 и 4 представлены карты аналогичных расчетов для диоксида азота. Практически вся территория города находится под влиянием концентраций, превышающих установленные гигиенические нормативы, и достигают максимальных значений вблизи источников выброса. Так, максимальная концентрация, равная 9 ПДК_{с.с.}, возможна в районе предприятий ЗАО «Байкалэнерго», МУП Спецавтохозяйство и ФГУ комбинат «Иркут» федерального агентства по государственным резервам.

Расчеты по математической модели (см. рис. 4) показали, что большая часть территории города и проживающее на ней население подвергаются влиянию повышенных концентраций в течение 96 ч в месяц, а в отдельных точках, как правило вблизи источников выброса, частота превышения достигает 449 ч в месяц.

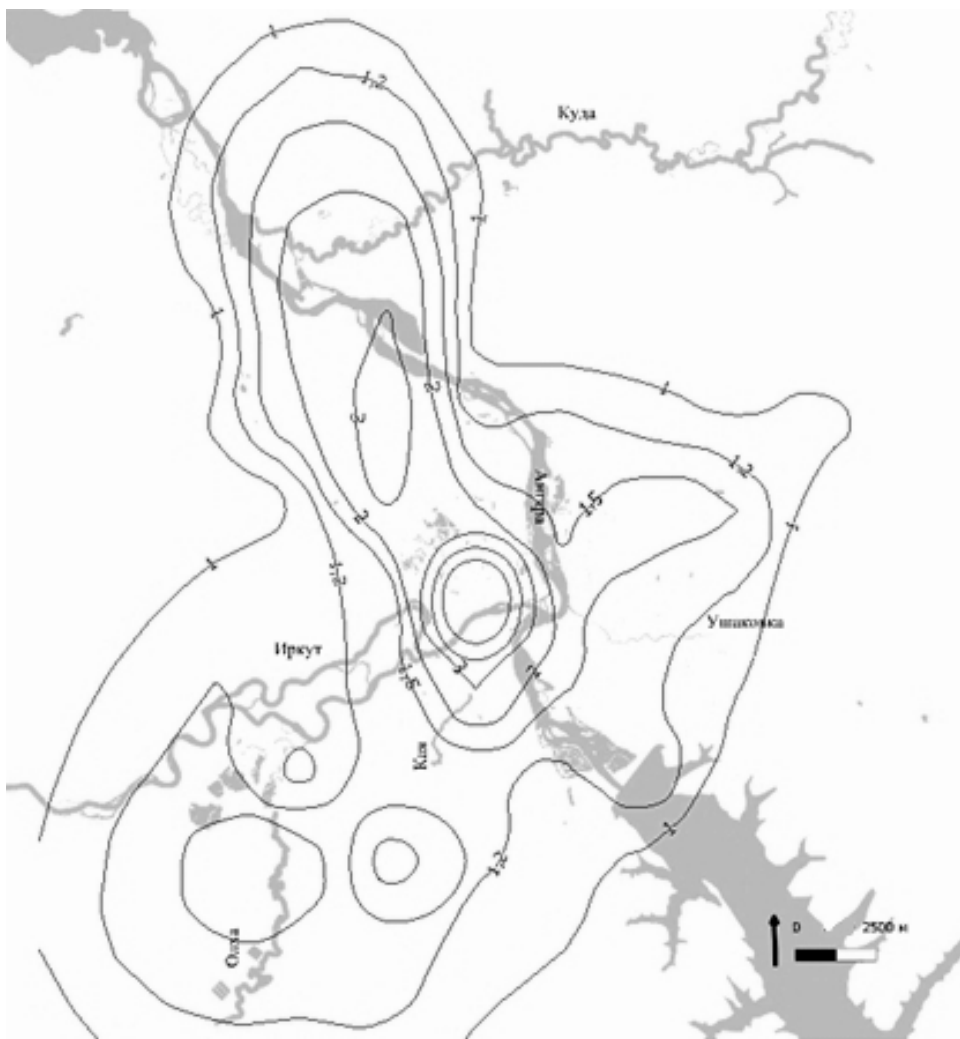


Рис. 3. Изолинии абсолютных концентраций диоксида азота в зимний период

Диоксид азота, относящийся к 3-му классу опасности, представляет серьёзную опасность для экологической ситуации, так как способен вызывать вторичное загрязнение (кислотные дожди, фотохимический смог). Кроме того, диоксид азота воздействует на дыхательные пути и лёгкие человека, а также вызывает изменение состава крови, в частности уменьшает содержание в крови гемоглобина. Воздействие на организм человека диоксида азота снижает сопротивляемость к заболеваниям, вызывает кислородное голодание тканей, особенно у детей, усиливает действие канцерогенных веществ, способствуя возникновению злокачественных новообразований.

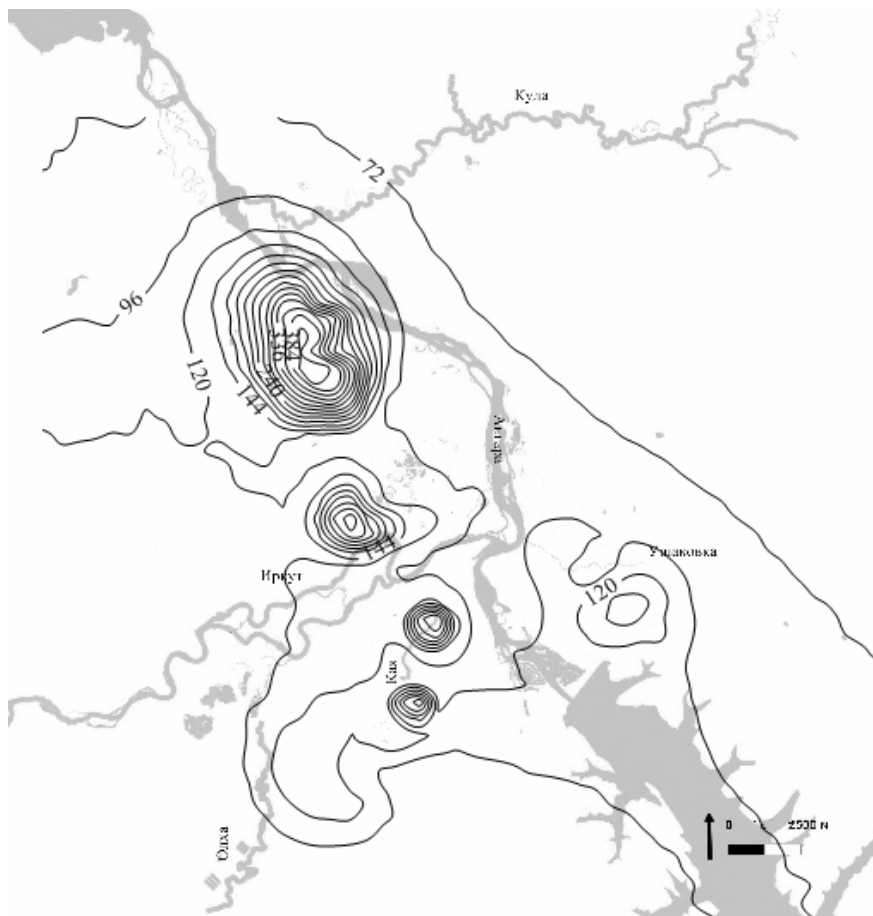


Рис. 4. Изолинии частот превышения ПДК_{с.с.} диоксида азота в декабре

В качестве сравнения приведен расчет опасного (превышение ПДК) загрязнения атмосферы в апреле. Область превышения указанного норматива загрязнения существенно уменьшается (рис. 5).

На рис. 6 и 7 представлены карты абсолютных концентраций и частоты превышения ПДК_{с.с.} сажи соответственно. Основными источниками данного вещества являются объекты теплоэнергетики, принадлежащие таким предприятиям, как мясокомбинат «Иркутский», филиал Иркутского облпотребсоюза «Пищевик», МУП «Спецавтохозяйство». Рассчитанные максимальные значения концентраций вблизи данных источников составляют 9, 7 и 10 ПДК_{с.с.} соответственно. Максимальная частота превышения ПДК_{с.с.} по данному компоненту составляет 372 ч в месяц.

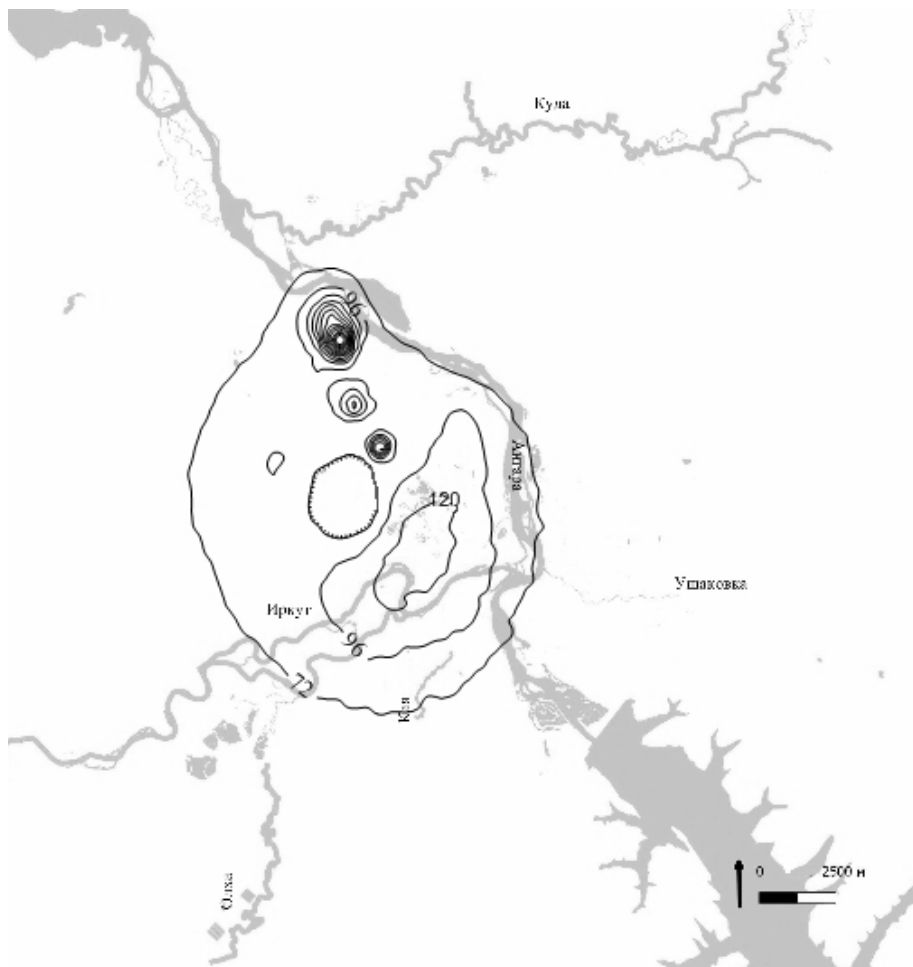


Рис. 5. Изолинии частот превышения ПДК_{с.с.} диоксида азота в апреле

Сажу относят к 3-му классу опасности веществ, она является продуктом неполного сгорания топлива. Частицы сажи при попадании в дыхательные пути вызывают хронические заболевания органов дыхания, обострение респираторных заболеваний, истончение слизистой верхних дыхательных путей. Длительный контакт с сажей вызывает рак кожи. Особенно опасным является одновременное присутствие в атмосферном воздухе бенз(а)пирена и частиц сажи, поскольку сажевые частицы являются адсорбентом для полиароматических углеводородов и способствуют попаданию этих веществ в организм человека через органы дыхания.

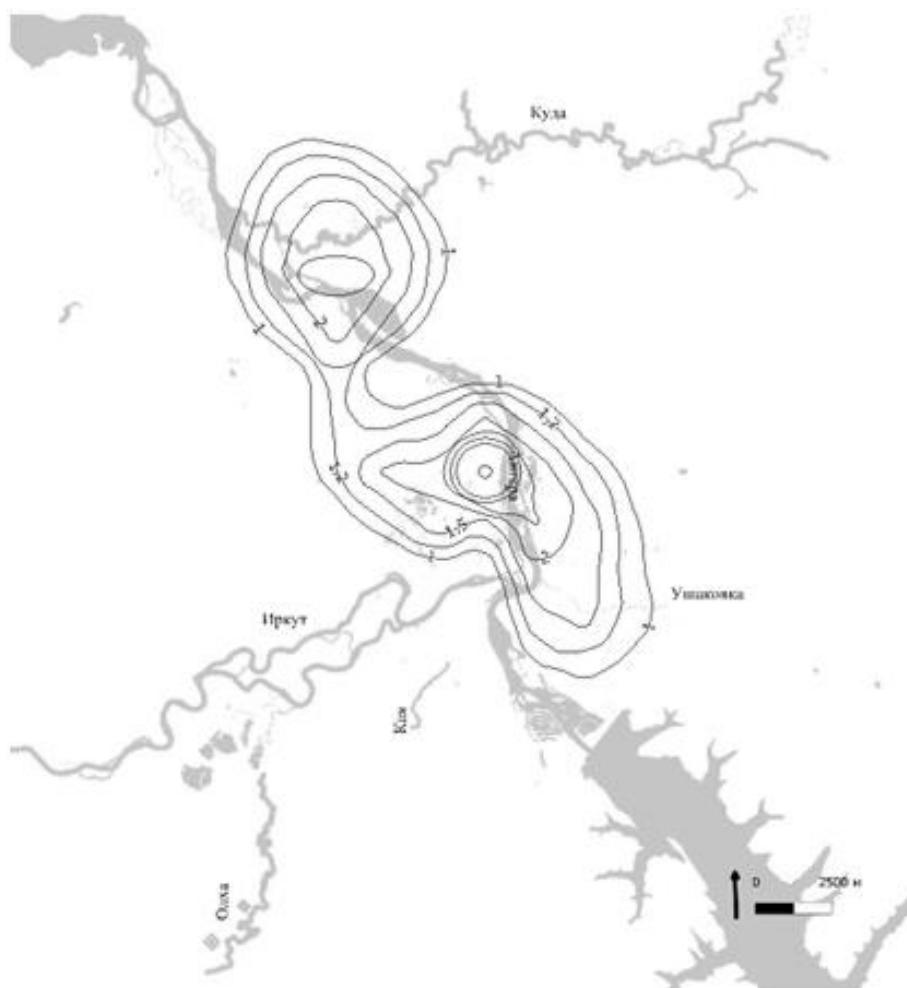


Рис. 6. Изолинии абсолютных концентраций сажи в зимний период

На рис. 8 и 9 представлены карты абсолютных концентраций и частоты превышения ПДК_{с.с.} диоксида серы соответственно. На диоксид серы приходится большая часть выбросов среди всех компонентов, поступающих в атмосферный воздух от промышленных предприятий города. В результате вся территория города находится под влиянием концентраций, превышающих 2 ПДК_{с.с.}, а максимальные значения достигаются вблизи источников выброса. Так, в районе Ново-Иркутской ТЭЦ концентрация диоксида серы составляет 6 ПДК_{с.с.}, а в районе источников, принадлежащих ИАЗ (филиал НПК «Иркут»), концентрация составляет 10 ПДК_{с.с.}

Что касается частот превышения ПДК_{с.с.}, ситуация также неблагоприятна: на большей части территории города установленные для диоксида серы нормативы нарушаются в течение 144 ч месяц и достигают максимального значения, равного 714 ч в месяц или 29 дней.



Рис. 7. Изолинии частот превышения ПДК_{сс} сажи в декабре

Диоксид серы, относящийся к 3-му классу опасности, ускоряет коррозию металлов, приводит к хлорозу, т. е. пожелтению листьев и карликовости деревьев. У человека этот газ раздражает верхние дыхательные пути, так как легко растворяется в слизи гортани и трахеи. Постоянное воздействие данного вещества может вызвать заболевание дыхательной системы, напоминающее бронхит. Более того, в атмосфере диоксид серы реагирует с водяным паром, образуя вторичный загрязнитель – сернистую кислоту ($\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_3 + 76 \text{ кДж}$), а в загрязненной влажной атмосфере происходит реакция образования серной кислоты ($\text{SO}_2 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}$). Капли кислоты переносятся на значительные расстояния и, попадая в легкие, сильно их разрушают.

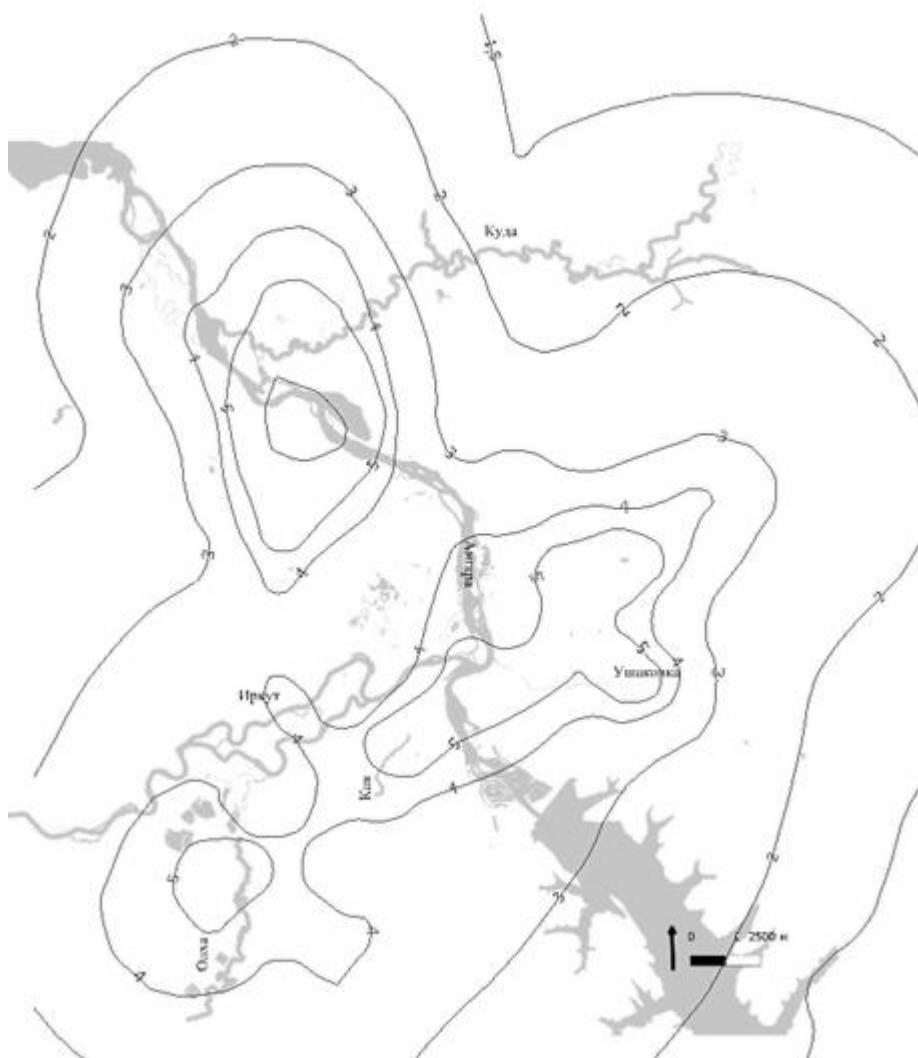


Рис. 8. Изолинии абсолютных концентраций диоксида серы в зимний период

Сравнение результатов расчетов с данными натуральных измерений стационарных постов слежения за состоянием атмосферного воздуха представляет определенные трудности из-за того, что посты наблюдения в городе размещены без учета предъявляемых к ним требований (непылящие покрытия; открытость площадки; отсутствие близко расположенных зданий, способных внести искажения в результаты измерений). Почти все посты в городе, измеряющие загрязнение на высоте 2 м, расположены вблизи дороги на перекрестках, где основной вклад в загрязнение вносит транспорт (особенно при торможении и начале движения), к тому же, измерения проводятся крайне нерегулярно.

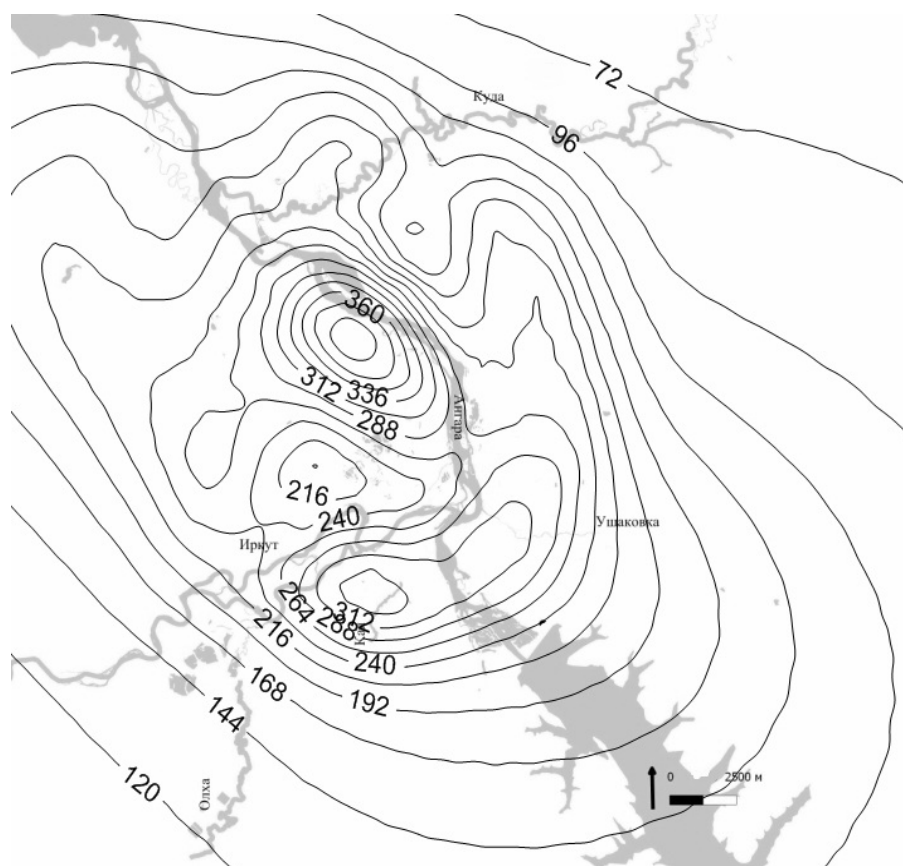


Рис. 9. Изолинии частот превышения ПДК_{с.с.} диоксида серы в декабре

Выводы

Проведенные исследования показали, что экологическая обстановка в г. Иркутске неудовлетворительна; это обусловлено повышенными концентрациями вредных веществ, которые создаются за счет значительных выбросов источниками промышленных предприятий и неблагоприятных климатических условий. Однако этот факт не побуждает руководство предприятий к принятию каких-либо мер, поскольку лишь небольшая часть источников загрязнения оснащена газоочистными установками.

В городе необходимо принятие конструктивных мер по улучшению качества атмосферного воздуха и оздоровлению экологической обстановки.

Работа выполнена при поддержке Иркутского государственного университета, грант 2012 г. для поддержки научно-исследовательской работы аспирантов и молодых сотрудников Иркутского государственного университета и Программы стратегического развития университета.

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. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011 году» [Электронный ресурс] / М-во природ. ресурсов и экологии РФ : сайт. – URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1392>. (дата обращения: 14. 03. 2013).

3. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий : общесоюз. нормат. док. (ОНД-86) / науч. рук. М. Е. Берлянд. – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – 93 с.

Air pollution caused by Irkutsk industrial enterprises

A. V. Akhtimankina, A. V. Arguchintseva

Annotation. In this article air pollution caused by Irkutsk industrial enterprises assessed based on two methods of assessed of air pollution, considering climate features terrain.

Key words: industrial enterprises, air pollution index, modelling, maximum allowable concentration, atmosphere, climatic features.

*Ахтиманкина Анастасия Владимировна
аспирант
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 52–10–72*

*Akhtimankina Anastasiya Vladimirovna
Post-Graduate Student
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel.: (3956) 52–10–72*

*Аргучинцева Алла Вячеславовна
доктор технических наук, профессор
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 42–56–84*

*Arguchintseva Alla Vyacheslavovna
Doctor of Technical Sciences, professor
Dean of the Faculty of Geography
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel.: (3956) 42–56–84*