



Серия «Науки о Земле»
2011. Т. 4, № 2. С. 28–41

Онлайн-доступ к журналу:
<http://isu.ru/izvestia>

ИЗВЕСТИЯ
*Иркутского
государственного
университета*

УДК 504.3.054(571.5)

Загрязнение атмосферного воздуха Байкальской котловины

А. В. Аргучинцева (arg@math.isu.ru)
С. Ж. Вологжина (svologzhina@gmail.com)

Аннотация. Рассматривается проблема загрязнения атмосферного воздуха Байкальской котловины. На основе математической модели строятся области распространения загрязняющих веществ, поступающих от стационарных источников населенных пунктов, расположенных в Байкальской котловине. Оценивается антропогенное влияние на особо охраняемые природные территории.

Ключевые слова: озеро Байкал, особо охраняемые природные территории, атмосфера, загрязнение, моделирование.

Постановка проблемы

Масштабное антропогенное вмешательство в природную среду, являющееся откликом производственной деятельности, становится опасным для отклика экосистем и жизни самого человека. Техногенные загрязнители, как и естественные, могут атмосферными потоками переноситься на очень большие расстояния. Поэтому, изучая антропогенное влияние на рассматриваемую территорию, необходимо учитывать не только близлежащие источники загрязнения, но и источники, расположенные в зоне атмосферного влияния.

Озеро Байкал является уникальным объектом, которое мировое сообщество объявило объектом Всемирного наследия. Это означает, что мы должны стремиться к тому, чтобы при внесенных возмущениях не нарушалась способность системы возвращаться в прежнее свое состояние.

Однако на протяжении многих десятилетий на Байкале исторически образовывались населенные пункты и места отдыха. Людей привлекали близость большого источника чистой питьевой воды, благоприятные климатические и природные условия, богатство флоры и фауны. Все это с неизбежностью привело к тому, что практически все побережье озера оказалось в пользовании человека, а это не может не сказываться на экологическом состоянии Байкальской территории.

Для сохранения экосистем озера Байкал практически вся прибрежная территория озера охвачена заповедным режимом (рис. 1):

- Байкальский биосферный заповедник;
- Байкало-Ленский заповедник;
- Баргузинский биосферный заповедник;

- Забайкальский национальный парк;
- Тункинский национальный парк;
- Прибайкальский национальный парк;
- Верхне-Ангарский заказник;
- Иркутный заказник;
- Кабанский заказник;
- Прибайкальский заказник;
- Снежинский заказник;
- Фролихинский заказник;
- Энхэлукский заказник.

Но, несмотря на существование особо охраняемых природных территорий вокруг озера, деятельность предприятий, оказывающих негативное воздействие, остается неизменной.



Рис. 1. Байкальская природная территория

Основные источники загрязнения атмосферного воздуха

Основную хозяйственную специализацию Байкальского региона определяет наличие значительных топливно-энергетических и сырьевых природных ресурсов. Это обусловило развитие энергоемких производств – цветной и черной металлургии, горнодобывающей, химической, целлюлозно-бумажной, лесной, деревоперерабатывающей и топливно-энергетической промышленности. С предприятиями вышеперечисленных отраслей связано поступление таких распространенных загрязнителей, как пыль, сажа, оксиды серы и азота, тяжелые металлы и пр. Кроме того, каждое производство имеет свой специфический перечень загрязняющих веществ. Антропогенные выбросы насчитывают десятки тысяч индивидуальных веществ, контроль же ведется за весьма ограниченным их количеством.

К основным региональным источникам загрязнения Байкала относятся следующие промышленные и сельскохозяйственные районы:

- Иркутско-Черемховский промышленный комплекс (города Иркутск, Шелехов, Ангарск, Усолье-Сибирское, Черемхово, Зима);
- район Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (г. Байкальск);
- бассейн р. Селенги (промышленный комплекс городов Улан-Удэ, Селенгинск, Гусиноозерск);
- примыкающий к Байкалу участок Байкало-Амурской магистрали (г. Северобайкальск, г. Нижнеангарск) и бассейн р. Верхней Ангары;
- бассейн р. Баргузин.

Антропогенную нагрузку от источников Иркутско-Черемховского бассейна испытывают районы Южного Байкала во время крупномасштабного переноса вдоль долины р. Ангары преобладающими северо-западными ветрами. В бассейне расположены предприятия черной и цветной металлургии, химической, лесной и деревообрабатывающей промышленности. Большое количество незамкнутых технологических процессов ведет к выбросам органических и неорганических кислот, щелочи, ядохимикатов, растворителей, красителей, продуктов переработки нефти и др. Из особо опасных химических загрязнителей выделяют большую группу хлорорганических соединений – под общим названием диоксины, бенз(а)пирен.

Озеро и его прибрежная территория подвержены значительному загрязнению от источников, расположенных непосредственно на берегу Байкала, а также за счет многочисленных стоков в озеро по естественному рельефу и через затопленные трубы. Так, с середины 60-х гг. прошлого столетия и по сей день (с небольшим перерывом) на самом берегу озера работает Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат (БЦБК), для которого постоянно устанавливаются временно-согласованные сбросы и выбросы, и эта «временность» длится уже более сорока лет. Все эти годы ученые и общественность бьют тревогу за судьбу озера и ведут борьбу за

прекращение деятельности БЦБК, регулярно проводятся на эту тему конференции, симпозиумы, форумы, но приоритеты экономики в рамках государственных решений преобладают над экологической безопасностью. Тем не менее, не секрет, что среди особо опасных поллютантов целлюлозно-бумажного производства являются, например, диоксины, которые устойчивы к химическому и биологическому разложению, сохраняются в окружающей среде десятки лет и беспрепятственно переносятся по пищевым цепям.

Крайний юго-западный район озера также подвержен воздействию источников загрязнения, связанных с высокой концентрацией транспортных и мелких промышленных предприятий в населенных пунктах Слюдянка и Култук.

Наибольший негативный вклад в формирование экологической ситуации вносят предприятия теплоэнергетики, которые из-за резко континентального климата значительную часть года работают в режиме полной нагрузки. При сгорании топлива выделяются углекислый газ, пары воды, газообразные оксиды серы и азота, тяжелые металлы, сажа и пр. Крупные ТЭЦ имеются почти во всех городах и на территориях крупных промышленных комплексов (Улан-Удэнского промышленного узла, включающего города Улан-Удэ, Гусиноозерск, Селенгинск).

В связи с размещением промышленных предприятий в зоне хозяйственного освоения БАМа вероятно влияние пылегазовых выбросов. Опасность загрязнения вод северной оконечности Байкала усугубляется особенностями гидрологического и гидрохимического режимов. Существующее здесь циркулярное течение и относительно медленный водообмен способствуют задержке загрязненных вод в этой котловине.

В данной работе использовались инвентаризационные данные о параметрах источников выбросов предприятий 20 населенных пунктов (рис. 2): Ангарск, Байкальск, Горячинск, Гусиноозерск, Еланцы, Иркутск, Култук, Каменск, Листвянка, Оймур, Посольск, Северобайкальск, Селенгинск, Слюдянка, Таловка, Танхой, Турунтаево, Улан-Удэ, Усть-Баргузин, Шелехов. В этих населенных пунктах находятся около 25 000 стационарных источников, которые выбрасывают более 100 загрязняющих веществ. В расчетах использовались данные о выбросах 14 наиболее распространенных загрязняющих веществ: оксид и диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, сажа, оксид железа, аммиак, взвешенные вещества, марганец и его соединения, фтористый водород, бенз(а)пирен, пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20 %, от 20 до 70 % и более 70 %.

Моделирование загрязнения территории

Перенос и турбулентную диффузию примесей в атмосфере в значительной мере определяют атмосферные условия и параметры источников выбросов. Ветер несет в себе значительный элемент случайности и для его описания широко используют вероятностные характеристики, а параметры источников значительно детерминированы.

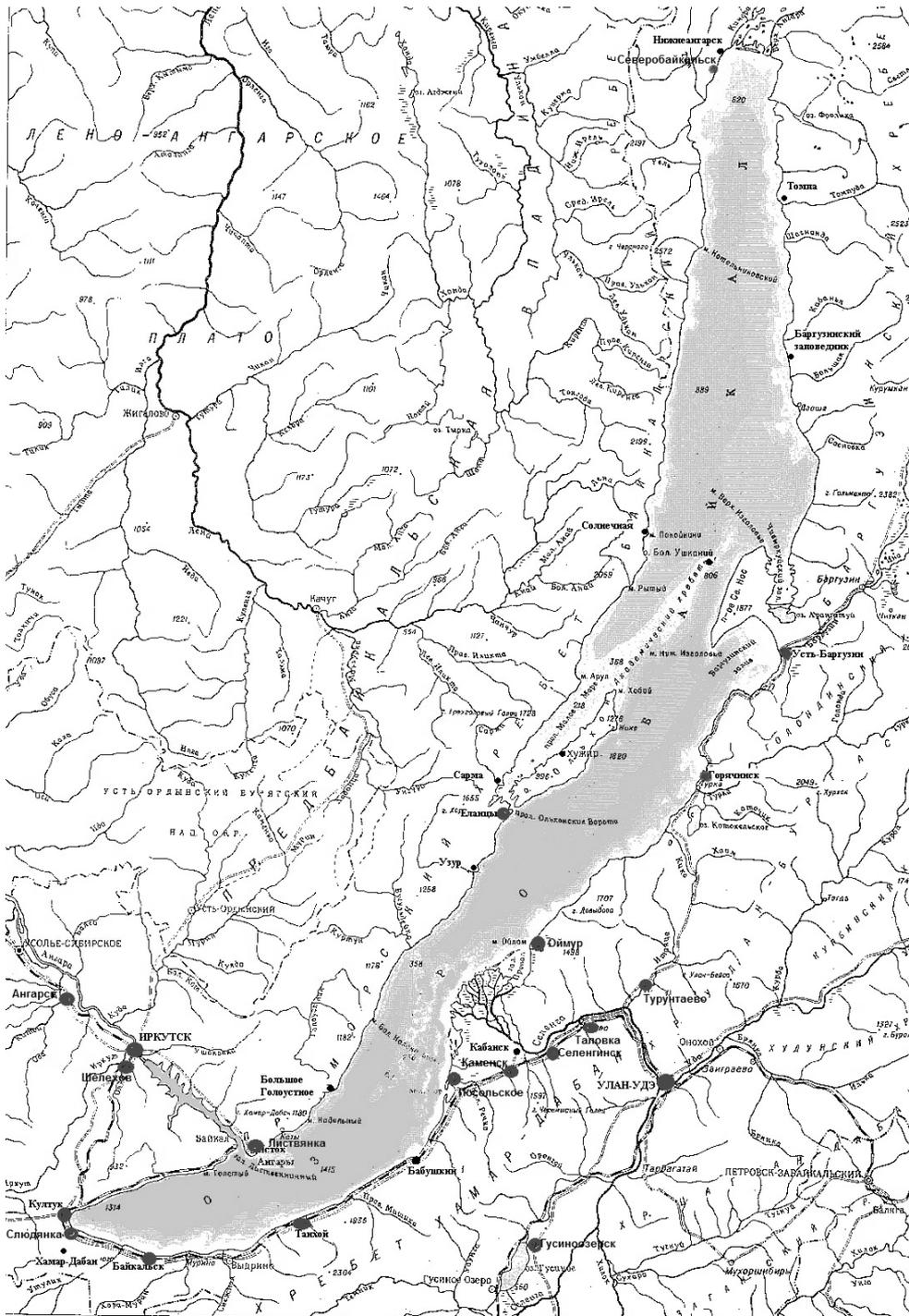


Рис. 2. Расположение рассматриваемых населенных пунктов (выделены черными точками)

В качестве входной информации в модель использовались инвентаризационные данные о параметрах источников предприятий: мощность (интенсивность) выброса, координаты относительного размещения источников, скорость выброса, радиус и высота трубы, температура газозвдушной смеси.

Кроме того, использовались многолетние данные ежедневных 8-срочных метеорологических наблюдений за температурой и вектором скорости ветра (2001–2010 гг.) с целью получения статистически устойчивых климатических характеристик. Данные многолетних наблюдений обрабатывались на компьютере по специальной авторской программе с целью исследования рядов на однородность и получения климатически устойчивых числовых характеристик: степенных начальных и центральных моментов. На основе полученных расчетов строились для каждого рассматриваемого пункта ежемесячные эллипсы рассеяния с целью выяснения климатического потенциала атмосферы к самоочищению [1] в различные сезоны года.

Расчеты проводились по авторским моделям [2; 3], позволяющим, наряду с абсолютными концентрациями загрязнителей, оценивать вероятность превышения допустимого нормативами уровня и продолжительность опасного воздействия загрязняющих веществ на компоненты окружающей среды.

Исходное уравнение, описывающее процессы переноса и турбулентной диффузии примеси, имеет вид:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \operatorname{div}(\vec{V}s) + \alpha s = Ds, \quad (1)$$

где t – время; \vec{V} – вектор скорости ветра с компонентами u, v, w , проецированными соответственно на оси декартовой прямоугольной системы координат (x, y, z) , s – концентрация примеси; α – коэффициент неконсервативности примеси, $D = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial}{\partial z}$ – оператор, действующий на s ; k_x, k_y, k_z – коэффициенты турбулентной диффузии соответственно по осям указанных координат.

Уравнение (1) в зависимости от целей моделирования используется либо как самостоятельное, либо как вспомогательное в уравнении Фоккера – Планка – Колмогорова [2] с целью возможности описания флуктуационных характеристик метеорологических параметров, источников выброса загрязняющих веществ и учета рельефа местности.

Расчеты были произведены для зимних месяцев, как неблагоприятных для рассеяния примесей (наиболее часто наблюдаются штили, приземные и приподнятые инверсии, при этом объекты теплоэнергетики работают на полную мощность), и летних месяцев, когда объекты теплоэнергетики работают в минимальном режиме. Надо отметить, что в ноябре–декабре (при отсутствии устойчивого ледяного покрова) из-за резкого колебания температур вода – суша создаются условия для переноса примеси от прибрежных источников непосредственно на зеркало озера.

В результате проведенных расчетов было получено 56 карт-схем загрязнения территории с изолиниями, проведенными по частотам превышения средней суточной предельно допустимой концентрации в часах в месяц.

В качестве примера приведем карты-схемы распределения диоксида серы и диоксида азота.

Диоксид серы

Произведенные расчеты показали, что по выбросам диоксида серы в таких населенных пунктах, как Горячинск, Каменск, Кабанск, Оймур, Посольск, Таловка, Танхой, Турунтаево превышений среднесуточной предельной допустимой концентрации по диоксиду серы нет.

Превышения ПДК_{с.с.} – в таких населенных пунктах, как Ангарск, Иркутск и Шелехов (рассчитывались в совокупности); Байкальск; Гусиноозерск; Еланцы; Култук и Слюдянка (рассчитывались в совокупности); Листвянка; Северобайкальск; Селенгинск; Улан-Удэ и Усть-Баргузин (рис. 3, табл. 1).

Изолиния 1 охватывает область, в которой превышение среднесуточной предельной допустимой концентрации превышает 24 часа в месяц. Далее изолинии проведены с шагом 24 ч (сутки).

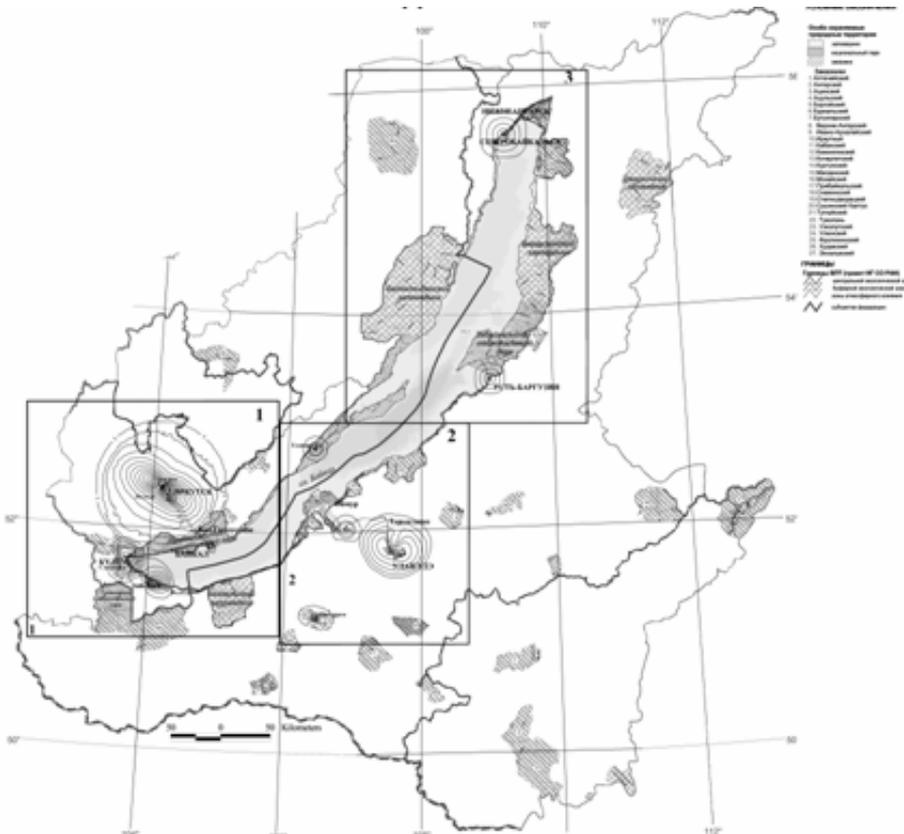


Рис. 3. Карта-схема частоты превышения ПДК_{с.с.} = 0,05 мг/м³ диоксида серы в Байкальском регионе в декабре

Таблица 1

Превышения ПДК_{с.с.} диоксида серы в населенных пунктах

Населенный пункт	Максимальное превышение ПДК _{с.с.} диоксида серы, в ч	
	в декабре	в июле
Ангарск, Иркутск и Шелехов	420	440
Байкальск	420	340
Горячинск	отсутствует	отсутствует
Гусиноозерск	250	250
Еланцы	70	отсутствует
Култук и Слюдянка	700	400
Каменск	отсутствует	отсутствует
Кабанск	отсутствует	отсутствует
Листвянка	480	отсутствует
Оймур	отсутствует	отсутствует
Посольск	отсутствует	отсутствует
Северобайкальск	65	75
Селенгинск	100	100
Таловка	отсутствует	128
Танхой	отсутствует	отсутствует
Турунтаево	отсутствует	отсутствует
Улан-Удэ	420	420
Усть-Баргузин	54	58

Для удобства проведения анализа областей влияния антропогенных источников, карты были разбиты на фрагменты 1, 2, 3, отображенные соответственно на рис. 3.1, 3.2, 3.3.

Как видно из рис. 3.1 рассеяние выбросов, поступающих от стационарных источников населенных пунктов Ангарск, Иркутск, Шелехов, Слюдянка, Култук, Байкальск и Листвянка, происходит на большие расстояния. В зоне воздействия выбросов загрязняющих веществ находятся такие особо охраняемые природные территории, как, в первую очередь, Прибайкальский национальный парк, Иркутский заказник.

Как видно из рис. 3.2 рассеяние выбросов, поступающих от стационарных источников населенных пунктов Улан-Удэ, Селенгинск, Гусиноозерск и Еланцы, происходит также на большие расстояния. В зоне воздействия выбросов загрязняющих веществ находится опять же Прибайкальский национальный парк.

Как видно из рис. 3.3 рассеяние выбросов, поступающих от стационарных источников населенного пункта Усть-Баргузин, происходит на меньшее расстояние, чем на предыдущих картах-схемах, что может быть обусловлено меньшими размерами населенных пунктов и их источников антропогенных выбросов. В зону воздействия выбросов загрязняющих веществ попадают Забайкальский национальный парк и Верхне-Ангарский заказник.

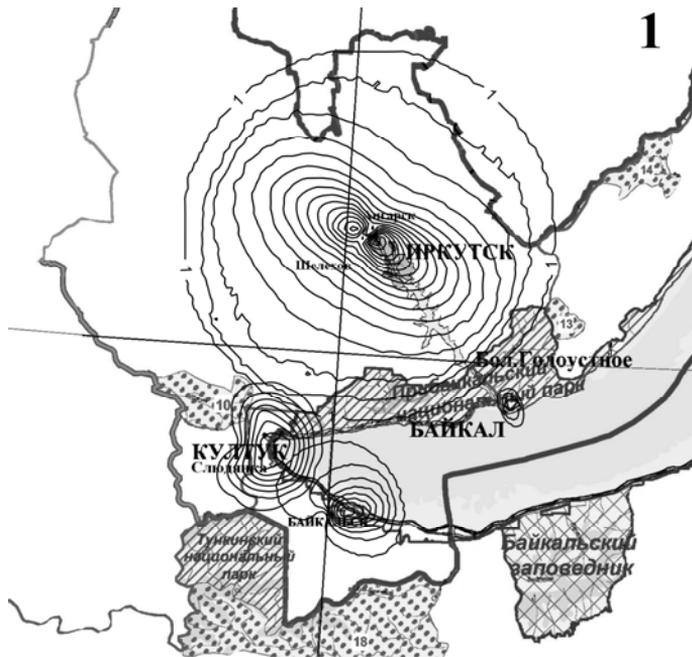


Рис. 3.1. Фрагмент 1 карты-схемы частоты превышения ПДК_{с.с.} = 0,05 мг/м³ диоксида серы в Байкальской котловине в декабре

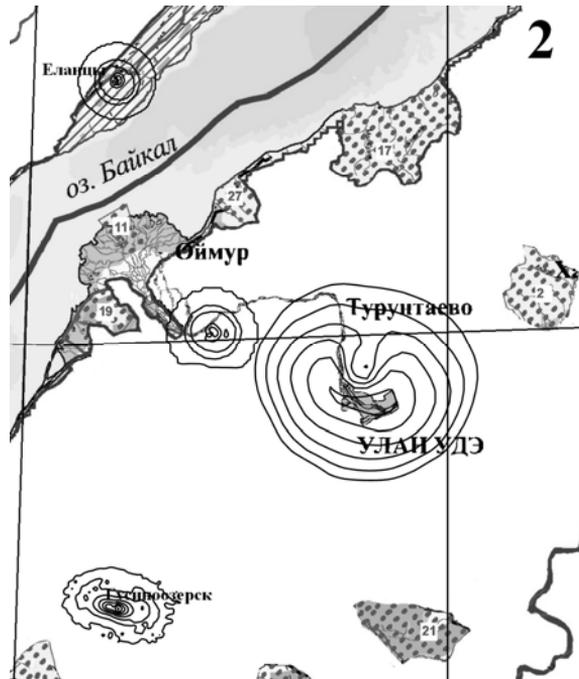


Рис. 3.2. Фрагмент 2 карты-схемы частоты превышения ПДК_{с.с.} = 0,05 мг/м³ диоксида серы в Байкальской котловине в декабре

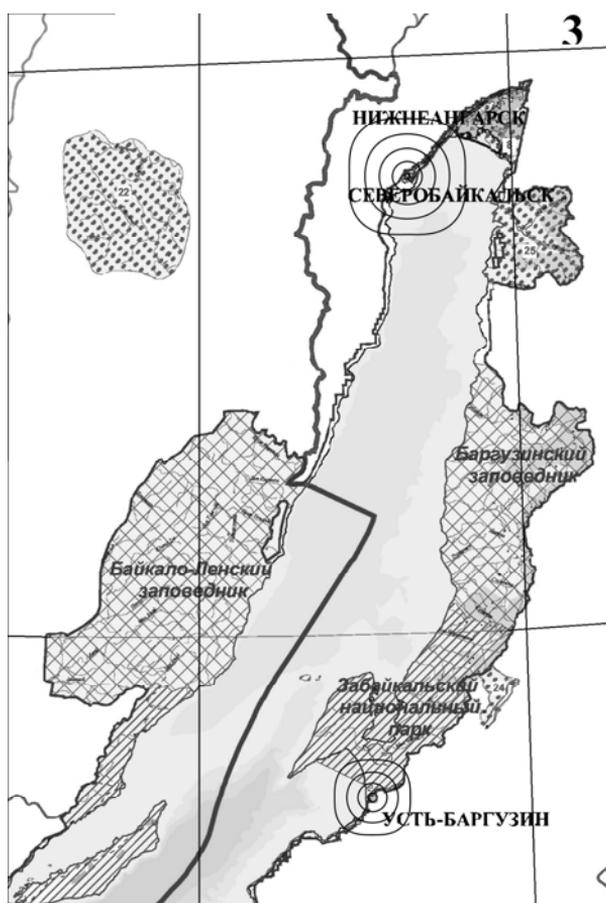


Рис. 3.3. Фрагмент 3 карты-схемы частоты превышения ПДК_{с.с.} = 0,05 мг/м³ диоксида серы в Байкальской котловине в декабре

Диоксид азота

В результате произведенных расчетов по выбросам диоксида азота в таких населенных пунктах, как Горячинск, Листвянка, Оймур, Посольск, Таловка, Танхой, Турунтаево, Усть-Баргузин по расчетам превышений среднесуточной предельной допустимой концентрации по диоксиду нет.

Превышения ПДК_{с.с.} были зафиксированы в таких населенных пунктах, как Ангарск, Иркутск и Шелехов (рассчитывались в совокупности); Байкальск; Гусиноозерск; Еланцы; Култук и Слюдянка (рассчитывались в совокупности); Северобайкальск; Каменск, Кабанск и Селенгинск (рассчитывались в совокупности); Улан-Удэ и Усть-Баргузин (рис. 4, табл. 2).

Изолиния 1 оконтуривает область, в которой превышение среднесуточной предельной допустимой концентрации превышает 24 ч в месяц. Далее изолинии проведены с шагом 24 ч (сутки).

Таблица 2

Превышения ПДК_{с.с.} диоксида азота в населенных пунктах

Населенный пункт	Мах превышение ПДК _{с.с.} диоксида азота, в ч	
	в декабре	в июле
Ангарск, Иркутск и Шелехов	420	420
Байкальск	50	115
Горячинск	отсутствует	отсутствует
Гусиноозерск	210	220
Еланцы	105	75
Култук и Слюдянка	480	480
Каменск, Кабанск и Селенгинск	240	240
Листвянка	отсутствует	отсутствует
Оймур	отсутствует	отсутствует
Посольск	отсутствует	отсутствует
Северобайкальск	540	400
Таловка	отсутствует	отсутствует
Танхой	отсутствует	отсутствует
Турунтаево	отсутствует	отсутствует
Улан-Удэ	290	290
Усть-Баргузин	отсутствует	отсутствует

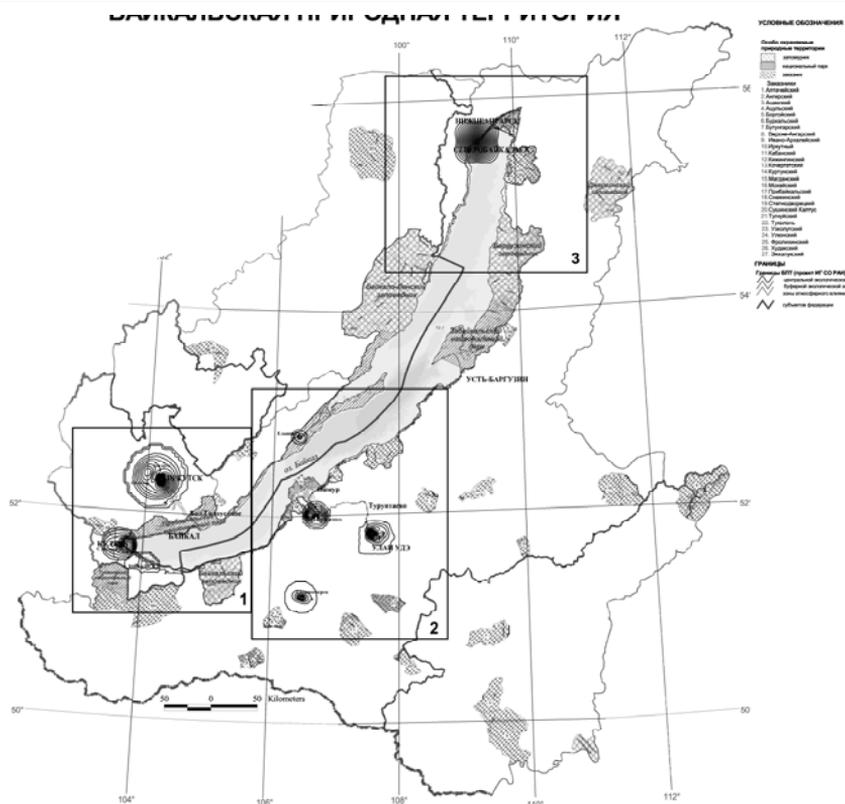


Рис. 4. Карта-схема частоты превышения ПДК_{с.с.} = 0,04 мг/м³ диоксида азота в Байкальском регионе в декабре

Для удобства проведения анализа областей влияния антропогенных источников карты были разбиты на фрагменты 1, 2, 3, отображенные соответственно на рис. 4.1, 4.2, 4.3.

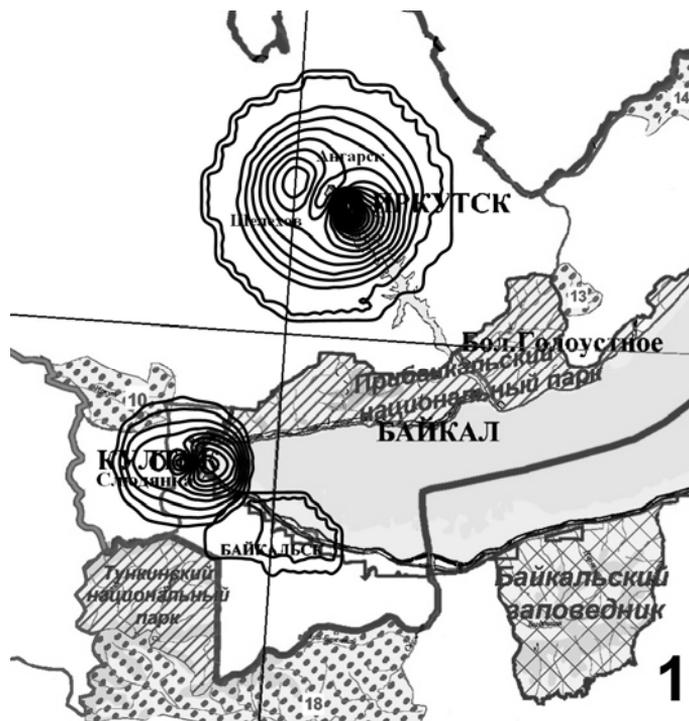


Рис. 4.1. Фрагмент 1 карты-схемы частоты превышения ПДК_{с.с.} = 0,04 мг/м³ диоксида азота в Байкальской котловине в декабре

Как видно из рис. 4.1 рассеяние выбросов, поступающих от стационарных источников населенных пунктов Ангарск, Иркутск, Шелехов, Слюдянка, Култук и Байкальск, происходит на большие расстояния. В зоне воздействия выбросов загрязняющих веществ находятся такие особо охраняемые природные территории, как Прибайкальский национальный парк и Иркутский заказник.

Как видно из рис. 4.2 рассеяние выбросов, поступающих от стационарных источников населенных пунктов Гусиноозерск, Улан-Удэ, Еланцы, Каменск, Кабанск и Селенгинск, происходит на большие расстояния. В зоне воздействия выбросов загрязняющих веществ находятся такие особо охраняемые природные территории, как Прибайкальский национальный парк.

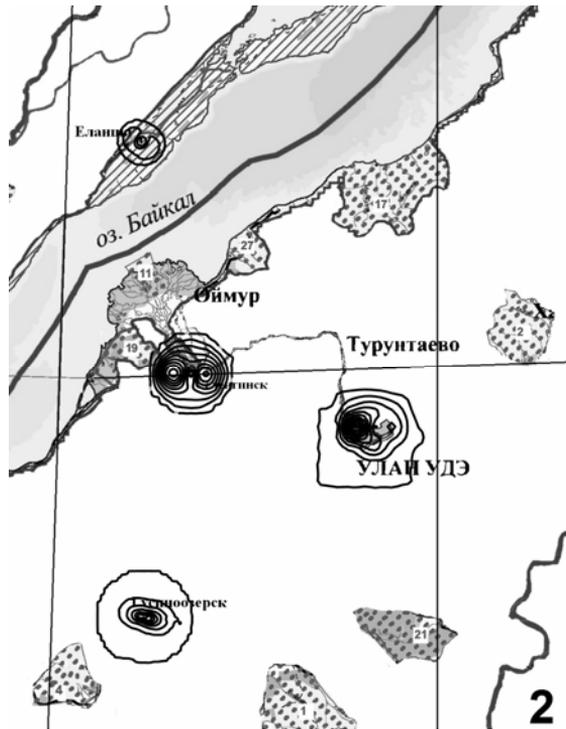


Рис. 4.2. Фрагмент 2 карты-схемы частоты превышения ПДК_{с.с.} = 0,04 мг/м³ диоксида азота в Байкальской котловине в декабре

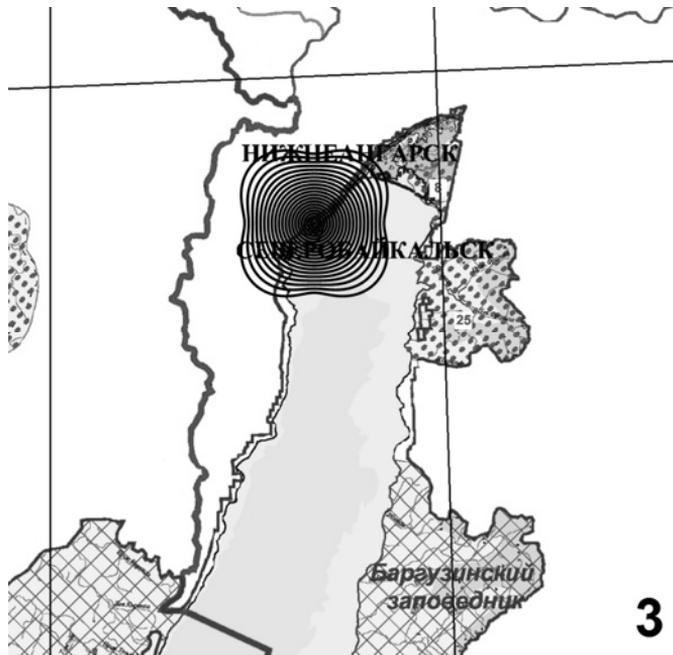


Рис. 4.3. Фрагмент 3 карты-схемы частоты превышения ПДК_{с.с.} = 0,04 мг/м³ диоксида азота в Байкальской котловине в декабре

Как видно из рис. 4.3 рассеяние выбросов, поступающих от стационарных источников г. Северобайкальска, происходит на большие расстояния. В зоне воздействия выбросов загрязняющих веществ находится Верхне-Ангарский заказник.

Выводы

Результаты расчетов показывают, что особо охраняемые природные территории: Прибайкальский и Забайкальский национальные парки, Иркутский и Верхне-Ангарский заказники – находятся в зонах опасного (с точки зрения нарушения установленных норм) антропогенного влияния. Расчеты производились исходя из ограничивающих критериев – значений среднесуточной предельной допустимой концентрации загрязняющих веществ. Однако для особо охраняемых территорий с их уникальными природными комплексами и большим риском для антропогенной уязвимости необходимо разрабатывать нормы предельных допустимых концентраций для растительности (как, например, в свое время были установлены ограничивающие критерии для территории Ясной поляны).

Необходимо рассматривать некую пороговую концентрацию вредных веществ в воздухе, а также чувствительность растений к примесям различных концентраций в зависимости от продолжительности их воздействия.

Список литературы

1. *Аргучинцева А. В.* Климатические особенности рассеивающей способности атмосферы в котловине оз. Байкал / А. В. Аргучинцева, С. Ж. Воложнина // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2010. – Т. 3, № 1. – С. 3–17.
2. Моделирование и управление процессами регионального развития / А. В. Аргучинцева [и др.]. – М. : Физматлит, 2001. – 431 с.
3. *Аргучинцев В. К.* Моделирование мезомасштабных гидротермодинамических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере и гидросфере региона оз. Байкал / В. К. Аргучинцев, А. В. Аргучинцева. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2007. – 255 с.

Air pollution of the Baikal trough

A. V. Arguchintseva, S. Zh. Vologzhina

Annotation. The article is devoted to the problem of air pollution of the Baikal trough. On the basis of mathematical model we are building area of pollution's distribution. Pollution comes from stationary sources of settlements which are located in the Baikal trough. Also we are assessing the anthropogenic influence on protected natural areas.

Key words: Lake Baikal, protected natural areas, atmosphere, pollution, modeling.

Аргучинцева Алла Вячеславовна
доктор технических наук, профессор
декан географического факультета
Иркутский госуниверситет
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 42–56–84

Воложнина Саяна Жамсарановна
аспирант
Иркутский госуниверситет
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел. (3952) 52–10–72