

# **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУШНОМ БАССЕЙНЕ ГОРОДА**

Костарев С.В. (Госкомэкологии Омской обл.),  
Осинцев Е.В., Паничкин А.В. (ИИТПМ СО РАН, г. Омск)

**Введение.** В данное время широко проводятся разработки геоинформационных систем (ГЭИС) на разных уровнях и с разными требованиями. В этом плане на региональном уровне получила развитие Система управления природопользованием (СУПП) и проводятся работы по созданию алгоритмов и пакетов программ для моделирования процессов переноса загрязняющих веществ в воздушном бассейне города. Был проработан вопрос по улучшению модели пересчета движения атмосферного воздуха, реализована цепочка различных моделей по оперативности и точности моделирования распространения ЗВ от различных источников. Разработаны алгоритмы поэтапного выхода на неизвестные источники загрязнения в случае их стационарного и нестационарного действия на основе минимизации функционала отклонений. В пакетах программ сделана возможность визуализации результатов расчета на карте.

## **1. Система управления природопользованием (СУПП)**

Фундаментом, на котором строится и развивается управление региональной экологической обстановкой, является оперативное получение информации о состоянии среды (мониторинг), база данных и знаний (центральная база данных - ЦБД), привязанная к временным и пространственным координатам в компьютерной географической информационной системе типа [1](ГЭИС), и правово-экономический механизм (ПЭМ) управления природопользованием. ГЭИС, оперативно пополняемая и развиваемая, - информационная основа для СУПП. Надстройка к ней - интеллектуальный компонент (ИК), может содержать:

- банк информации, содержащий ретроспективные и актуальные данные о состоянии экосистемы, в частности, воздуха и погоды в заданном районе, полученные любыми средствами мониторинга;
- средства восприятия оперативной информации из каналов связи, из других источников и ее коррекции при санкционированном доступе;
- компьютерные модели для проведения исследования последствий загрязнения и тенденций развития экосистемы региона, средства накопления предложений по природоохранной политике;
- информационно-расчетное программное обеспечение для поддержки договорных отношений с природопользователями, средства формирования управляющих решений, генератор форм документов по управлению и отслеживанию последствий управляющих воздействий;

- средства сбора, накопления и использования результатов выполнения- невыполнения принятых решений-воздействий;
- средства аргументации (демонстрации процесса получения) решения при возникновении конфликтных ситуаций;
- средства отображения текущего состояния природной среды, автоматизированного формирования коррекции и доставки решений в виде установленных форм документов.

Информационное обеспечение СУПП должно иметь развиваемую базу информации и инструментальные средства проектирования функционально-ориентированного интеллектуального интерфейса.

Главной целью создания и функционирования (кибернетической) СУПП является существенное повышение эффективности правово-экономический механизм (ПЭМ), обеспечение приостановки ухудшения, сохранения и затем улучшения экологической обстановки в городе и тем самым здоровья населения.

Важнейшей функцией СУПП является формирование решений, а не только представление многообразной информации, на что ориентировано большинство ГЭИС. В соответствии с этим и с постановкой задачи актуальными компонентами создаваемой СУПП наряду с автоматизированным мониторингом является ПЭМ и ориентированный на него ИК информационного обеспечения. Под ИК (интеллектуальной надстройкой над ГЭИС) понимается совокупность программных средств, позволяющих автоматически формировать управляющие воздействия на процесс природопользования, средства, позволяющие специалистам по экологии повысить доказательность (аргументированность) своих прогнозов и заключений.

Представляется, что интеллектуальный компонент СУПП должен иметь также средства обучения работе с СУПП.

Другой задачей ИК является преобразование информации о состоянии среды и представление ее и соответствующих экспертных знаний населению. К таким средствам относятся:

- банк информации, содержащий ретроспективные и актуальные данные о состоянии экосистемы, в частности, воздуха и погоды в заданном районе, полученные любыми средствами мониторинга;
- компьютерные модели переноса примесей в воздушной среде, модели геобиологической системы и геохимических превращений, а также программы коррекции их параметров по текущим данным мониторинга;
- классификация состояний воздуха по совокупности возможных значений параметров как измеряемых, так и прогнозируемых посредством компьютерных моделей;
- множество возможных управляющих воздействий, перечисленных или получаемых посредством программной поддержки лицензирования;

- таблицы решений или фреймовое отображение взаимосвязей между состояниями воздушной среды и возможными решениями. Здесь должно быть предусмотрено вмешательство специалиста для корректировки взаимосвязи по не отражаемым в ЭВМ соображениям (экспертные знания);
- программное обеспечение, формирующее по заданным условиям одно или несколько решений. Здесь же осуществляется выбор или подтверждение предложенного решения специалистом и выдается команда на передачу этого решения в необходимые адреса (посредством факса, электронной почты и т.п.) в виде утвержденной и подписанной (средствами компьютерной подписи) формы;
- средства сбора, накопления и использования результатов выполнения- невыполнения принятых решений-воздействий;
- средства аргументации (демонстрации процесса получения) решения при возникновении конфликтных ситуаций.

## **2. Моделирование переноса ЗВ и алгоритм поиска источников загрязнения**

Одной из составных частей СУПП является создание и совершенствование моделей, алгоритмов, программного обеспечения по моделированию процессов переноса ЗВ и связанных с ним решения разного рода экологических задач.

Вопросы моделирования распространения загрязняющих веществ (ЗВ) рассмотрены в настоящее время в обширной литературе. Разработаны специальные модели по расчету атмосферных процессов переноса ЗВ от аналитических до трехмерных численных. При этом точность моделирования атмосферных явлений остается недостаточной. Чем меньшая инерционность атмосферы учитывается с переходом от мезомасштабов к более локальным масштабам, типа города и его окрестности, тем хуже точность моделирования (70-30%), что связано с проявлением неоднородности подстилающей поверхности и усложнением проявляющихся с уменьшением периода осреднения конвективных движений в приземном и пограничном слоях. Уменьшение масштабов осреднения и выявление большого числа подробностей приводит к более динамичным и усложненным структурам, моделирование которых осложнено возрастающими по нелинейному закону потребностями числа расчетных узлов и операций.

Было проведено построение различных расчетных алгоритмов для моделирования распространения ЗВ в городе и его окрестности. Учтена кривизна поверхности на основе преобразования координат и учтены конкретные характеристики подстилающей поверхности, проведено кодирование рельефа по 14 признакам. Для повышения точности моделирования атмосферных процессов в расчетных программах предусмотрен перерасчет динамики атмосферы по метеорологическим данным, которые может поставлять региональный гидромет-

центр. Для расчета переноса ЗВ в трехмерных областях использовалась усовершенствованная разностная схема с алгоритмом [3].

Для тестирования программ использовались замеры по ЗВ на ряде постов в конкретное время с учетом на это время метеоданных и режима выбросов ЗВ на предприятиях. Для определения районов и координат источников с основными выбросами ЗВ по этим замерам отрабатывался алгоритм последовательного поиска, который основан на минимизации функционалов отклонения измеренных и расчетных концентраций ЗВ и решении ряда прямых задач распространения ЗВ с последовательным увеличением числа неизвестных источников после выделения их основного центра[2]. Построен алгоритм восстановления мощностей выбросов в случае известных источников.

### 3. Пакет программ

Все моделирующие программы собраны в пакет программ «FORECAST» (ПРОГНОЗ), разработанный под Windows 95. В пакете проведена стыковка комплексов программ моделирования с ЦБД Системы управления природопользованием (СУПП) по различным типам источников согласно инвентаризации: точечные, линейные и площадные источники.

В пакете содержатся другие программы по моделированию:

- по перерасчету погодных условий в окрестностях города с определением локального поля скорости атмосферного воздуха, коэффициентов турбулентной диффузии, распределением температуры и других величин, участвующих в дальнейшем в различных программах моделирования переноса ЗВ.
- по расчету трансформации ряда ЗВ с использованием полного механизма химического взаимодействия.

В программах возможен выбор нескольких моделей турбулентности: значения для диффузии и теплопроводности вводятся и остаются в расчетах постоянными, используется модель степенного распределения (или логарифмического), используется модель Прандтля, упрощенная алгебраическая модель или К-Е модель;

При работе в пакете «FORECAST» для всех программ файлы изменяющихся данных, требуемых в процессе моделирования, заполняются в диалоговом режиме с экрана монитора или выбираются в автоматическом режиме из ЦБД СУПП после формирования некоторых ограничений.

Обмен данных с ЦБД проводится через SQL-сервер, который перед работой с пакетом необходимо запустить в рабочее состояние. Для формирования файлов данных по источникам первоначально проводится заполнение данных с ограничениями по выбору возможных источников, определяя:

1. режим разового выброса ЗВ или ежедневного с задаваемым временем суток начала и конца;
2. название ЗВ, по которому будет производиться выборка мощностей выброса из источников, или его код;

3. код типа источника с выбором соответствующего его названия;
4. область расположения источников с заданием ограничивающих координат.  
Такое заполнение проводится для каждого типа источников отдельно с выборкой из ЦБД всех подходящих источников.

Выборка из ЦБД производится по SQL-запросу, составленному для структуры базы по определенной схеме. Эта схема включает название вещества с определением его кода и среды - воздух, выборку возможно действующих источников согласно инвентаризации с определением мощности выброса ЗВ и попадающих в область моделирования.

При выборке производится дополнительная проверка при наличии тех или иных обязательных параметров для заданного типа источников. При отсутствии хотя бы одного значения не производится включения рассматриваемого источника в список выбираемых источников. Для оптимизации выборки SQL-запрос разбит на три отдельных запроса. Одновременно можно ввести данные по характеристикам выброса ЗВ вручную для каждого типа источников. Предусмотрено моделирование аварийных выбросов с площадных источников, учитывая режим испарения ЗВ. Для более точного расчета переноса можно сделать полный перерасчет движения атмосферного воздуха. По окончании расчета производится вывод результатов расчета с дальнейшим преобразованием и отображением на карту города с помощью **Arc/Info**.

К пакету присоединен комплекс программ «Poisk-1» с алгоритмами поиска нескольких источников загрязнения и определения их координат и мощности выброса по заданному ЗВ. Подробное описание приведено в [2].

#### **4. Результаты моделирования**

В качестве демонстрации возможностей пакета «FORECAST» («ПРО-ГНОЗ») было проведено моделирование переноса ЗВ от точечных источников, площадного источника и от различных типов источников с разным режимом работы согласно инвентаризации.

На рисунках 1-4 показана установившаяся картина загрязнений воздуха сернистым ангидридом от четырех точечных источников, расположенных на ТЭЦ-3 и 4 г.Омска, с расчетами по двум методикам и при различных турбулентных диффузиях в атмосферном воздухе. Температурные перепады на подстилающей поверхности были рассмотрены несущественными, в пределах пяти градусов, при устойчивом направлении ветра ( $f = -45$ ,  $U = 5-10$  м/с).



Рисунок 1

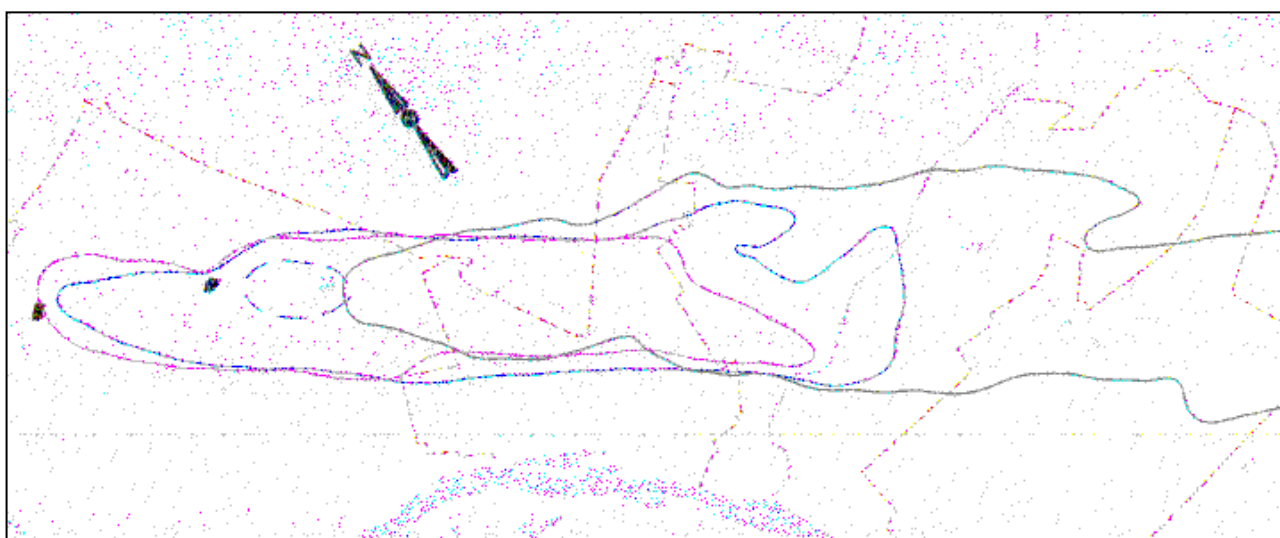


Рисунок 2

На рисунках указаны изолинии с ПДК 1 сплошными линиями, с ПДК 5 - пунктиром, 10 - мелким пунктиром для высот 1 метр, 250 и 350 метров от подстилающей поверхности (обозначения указаны на рисунках). На рисунках 1-2 горизонтальная диффузия была около 100, а на рисунках 3-4 - около 10 кв. м/с. На рисунках 2 и 4 расчеты проведены по традиционной методике в вычислительных методах, а на рис. 1 и 3 - по разработанной методике [3], в которой отсутствует дополнительная диффузия, образующаяся в расчетных схемах при несовпадении направлений переноса с узловыми линиями сетки. Из рисунков 2 и 4 видно, что наличие повышенной (образованной схемой) диффузии приводит к более быстрому рассеиванию повышенных концентраций ЗВ (ПДК = 5 и 10), чем это происходит в расчетах с диффузией, физически близкой к заданной (см. рисунки 1 и 3).

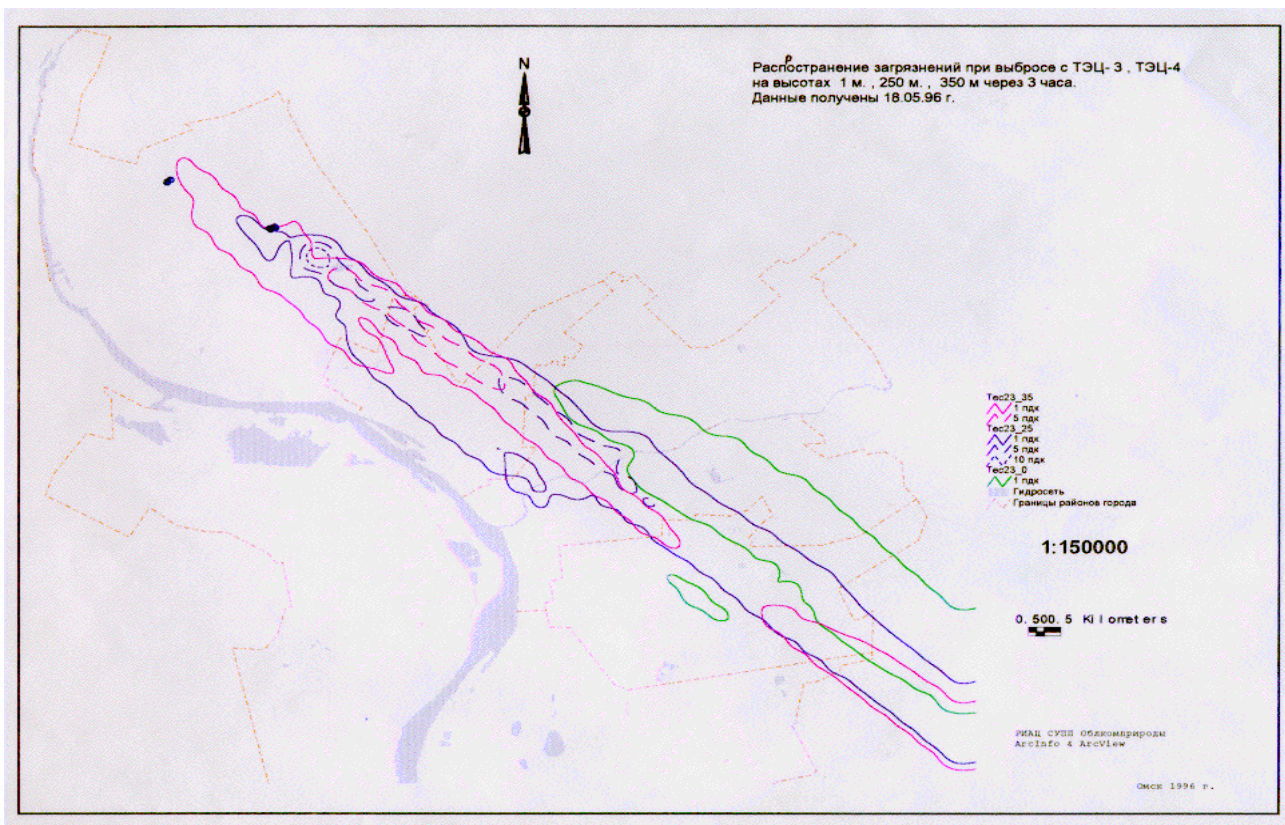


Рисунок 3

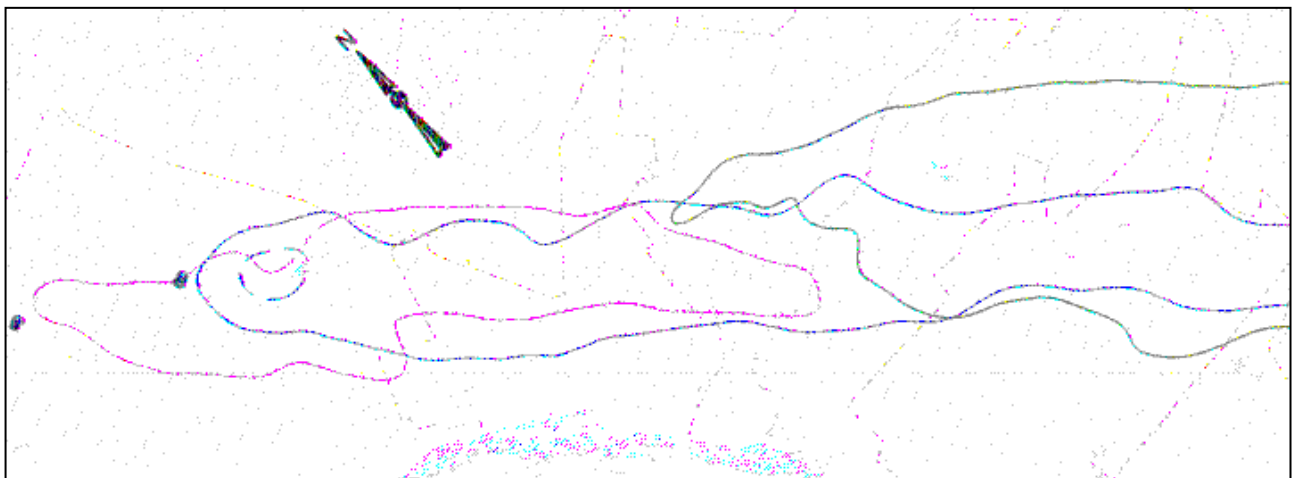


Рисунок 4

На рисунках 5-7 показаны картины загрязнения от площадного источника размером 100м на 100м с выбросом в течение часа 30 тонн аммиака и дальнейшим распространением в течение нескольких часов при неблагоприятных погодных условиях ( $f = -60$ ,  $U = 0.02$  м/с), таком же слабом локальном ветре, насчитанном по местным погодным условиям и особенностям на подстилающей поверхности с перепадом температур на ней до 20 градусов в дневное время суток (максимальные скорости ветра: 2 м/с для горизонтальных потоков и 0.5 м/с - для вертикальных). На рисунках показаны изолинии ПДК (от 1

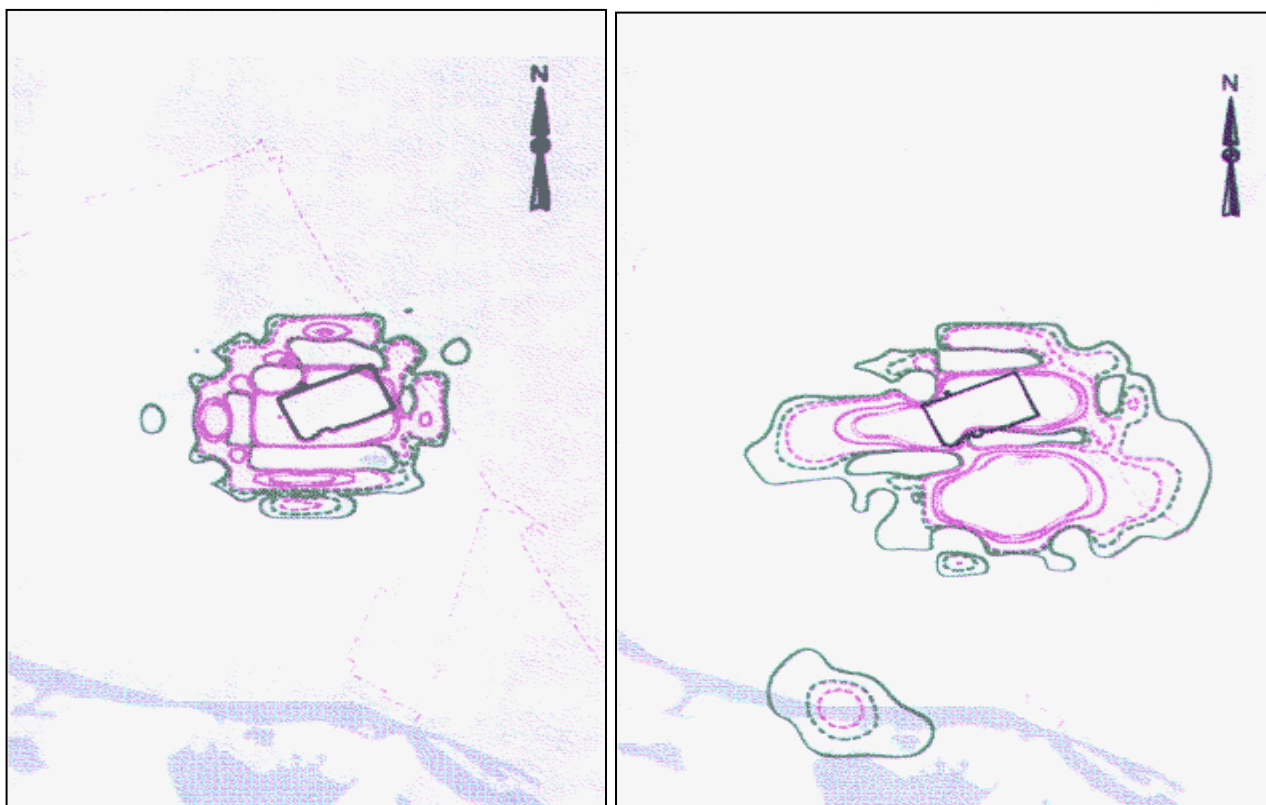


Рисунок 5-6



Рисунок 7

до 100 ) на разных высотах (распространение по высоте происходило до высоты 900 м) и через разное время после начала выброса. На рис. 5 показана картина для высоты 1 м через 1 час, на рис.6 -на высоте 200 м через 4 часа и на рис.7 - для высоты 1 м через 8 часов. Данный расчет режима распространения ЗВ по времени свидетельствует о возможном выпаде больших ПДК загрязняющего вещества сверху на большом удалении от источника выброса. Последние расчеты были проведены по усовершенствованной методике.

Ниже приведем фрагмент расчета переноса ЗВ от серии источников, выбираемых из ЦБД согласно инвентаризации. В качестве исходных источников были выбраны 190 точечных и 2 площадных источника по выбросу ЗВ с N 0330 (сернистый ангидрид). В качестве расчетной области был взят квадрат на карте города размером 27 км x 27 км с числом узлов 41 x 41. По высоте расчетная об-



ласть бралась до 1000м (21 узел). Расчеты были проведены в период с 7.00 до 13.00 в условиях штиля: ветер северо-западный до 0.5м/с, температура 5-10 гр. Цельсия. 13.00 до 15.00 были рассмотрены другие погодные условия: ветер юго-западный до 5-7м/с, температура 10-16 гр. Цельсия. В этих условиях после обсчета скоростей движения атмосферного воздуха в 7.00 и в 13.00 был просчитан перенос сернистого ангидрида от источников, выбранных из ЦБД (в расчетную область из 190 точечных источников, имеющих по инвентаризации все необходимые для расчета параметры, попали 106 источников). На рис.8 показаны изолинии концентрации ЗВ на карте города для высоты 1 с ПДК, равной 0.2, 1, 2( сплошные линии) на момент времени 13.00. Расчеты показывают, что по выбросам сернистого ангидрида с ряда предприятий согласно инвентаризации происходит превышение ПДК в условиях слабого ветра (штиля) в окрестностях многих источников для жилых районов города. Увеличение же ветра до 5-7 м привело к исчезновению таких зон с превышением ПДК (0.00005г/куб. м).

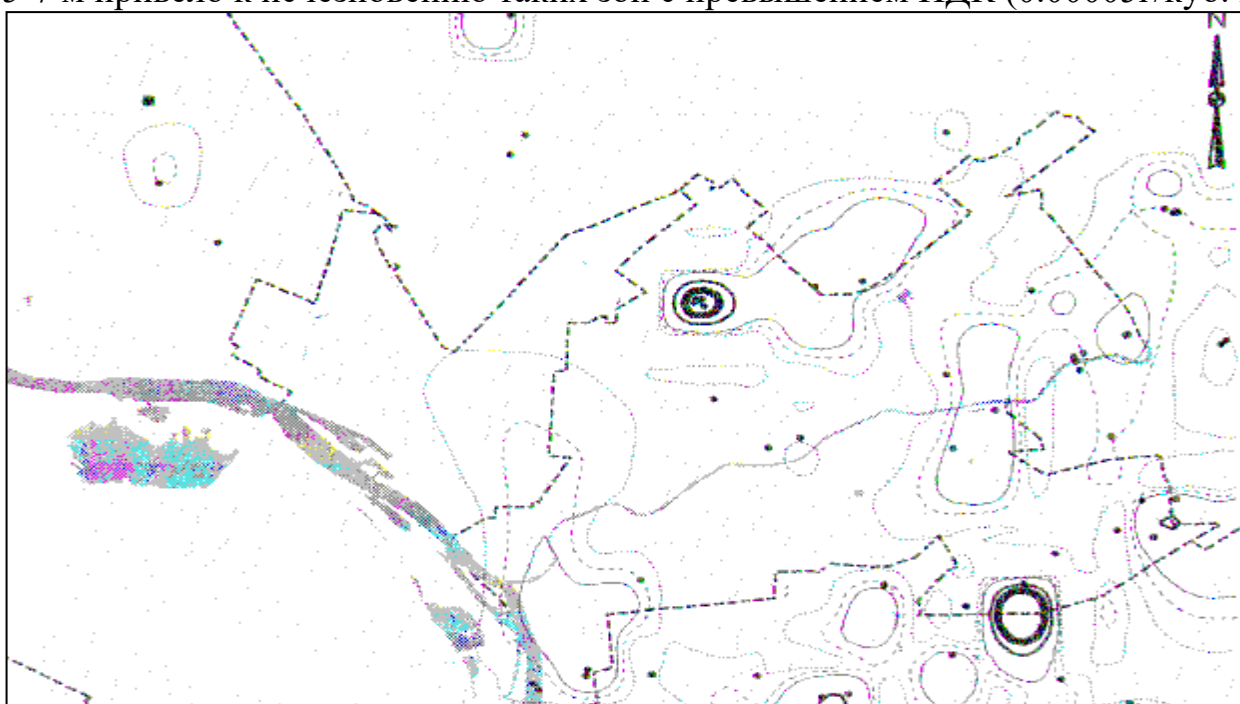


Рисунок 8

1. Полещук Ю.М., Хон В.Б. *Основы методологии построения и организации геоэкоинформационных систем.* - Томск, 1989. - 29с. - (Препринт ТНЦ СО РАН, No 1).
2. Бушуев В.В., Задорин А.И., Паничкин А.В. *Прогнозирование источников загрязнения и распространения загрязнений в воздушном бассейне города/* Препринт N 15.- Омск, ИИТПМ СО РАН и ОмГУ, 1994.
3. Паничкин А.В. *Алгоритм уменьшения искусственной диффузии в конечно-разностных схемах для многомерных задач.* Тезисы межд. Конф.'Математические модели и численные методы МСС' //-Новосибирск, изд-во СО РАН, 1996.-С.426-427.