
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

ПРИМЕНЕНИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

**В.Н. Ложкин, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки Российской Федерации;
О.В. Ложкина, кандидат химических наук, доцент;
А.Ю. Пенченков.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

На основе критического анализа специфики использования геоинформационных технологий применительно к исследованию транспортных систем, в частности экологической направленности, рассматривается методика создания информационного процесса контроля химического загрязнения воздуха автомобильным транспортом при неблагоприятных метеорологических условиях в периоды высокой интенсивности его движения в «часы пик». На основе анализа экспериментально-расчетных данных по Санкт-Петербургу предложены мероприятия, направленные на ослабление чрезвычайно опасного воздействия отработавших газов транспортных средств на городское население.

Ключевые слова: геоинформационная система, информационный процесс, городской автотранспорт, вредные вещества, опасное загрязнение атмосферы, прогнозирование чрезвычайных ситуаций

ON THE APPLICATION OF GIS-TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENTAL CONTROL OF URBAN TRANSPORT

V.N. Lozhkin; O.V. Lozhkina; A.Yu. Penchenkov.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The paper describes the method of development of information process for the control of chemical pollution of the air by road transport under adverse meteorological conditions at rush hour basing on the critical analysis of the specifics of application of GIS technologies for the investigation of transport systems, including their impact on the environment. Based on the analysis of experimental and computational data for St Petersburg, we have proposed measures aimed at the reducing of the extremely dangerous effects of vehicles exhaust gases on the urban population.

Keywords: GIS-technologies, information process, urban transport, hazardous substances, hazardous air pollution, forecasting of emergencies

Вопросы применения геоинформационных технологий (GIS-technology) и баз данных в организации информационных процессов контроля загрязнения воздушной среды городским транспортом в настоящее время приобретают высокую актуальность [1]. Такого

рода исследования имеют сегодня особую значимость в связи с необходимостью обеспечения соответствующим информационно-аналитическим сопровождением принятие ответственных решений на различных уровнях управления техносферной безопасностью: локальном, региональном и глобальном [2].

Научная и прикладная оригинальность, а также эффективность применения геоинформационных систем (ГИС) обусловлены выявлением и обоснованием с их помощью эмерджентных (системных) свойств транспортно-экологических систем при чрезвычайно опасных режимах их функционирования и созданием новых информационных процессов мониторинга окружающей среды, оптимально сочетающих для решения конкретных прикладных задач известные, порою стандартные, информационные технологии, алгоритмы и базы данных [3, 4].

Оригинальность научно-методического подхода с использованием ГИС-моделирования определяется в этом случае необходимостью учета специфичных параметров и характеристик транспортно-экологических систем (топологии ареала, климатических и метеорологических факторов, условий градостроительства, типа и состава транспортных средств, его технического состояния, вида используемого топлива, интенсивности движения и т.д.) применительно к прогнозированию условий и последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с загрязнением вредными веществами отработавших газов (ОГ) воздуха в окрестности городских автомагистралей [4, 5].

Обоснованию применимости ГИС для решения задач информационно-системного и функционального обеспечения принятия ответственных управленческих решений в обозначенной сфере транспортной безопасности посвящается настоящее исследование.

Целесообразность применения ГИС в организации информационных процессов мониторинга безопасности транспорта

Транспортные системы характеризуются высокой степенью сложности [1, 3], поэтому организация экологического мониторинга может сочетать разные информационные форматы [1], осуществляться с применением или в «оболочке» геоинформационной среды (рис. 1).



Рис. 1. Классификационная структура информации в различных форматах и системах [1] (САПР/АСУТП – система автоматизированного проектирования/автоматизированных систем управления технологическими процессами)

При их моделировании возникают проблемы «необозримости» и «проклятия размерности» [3]. На решение подобных проблем и был направлен прогресс в области компьютерных технологий, позволивший сконцентрировать знания и опыт современной математики на обработку и оптимальное использование колоссальных объемов разнообразной информации, что и привело к созданию нового типа интегрированных систем – ГИС.

Применение ГИС в информационных процессах экомониторинга имеет ряд преимуществ [1].

1. Возможность проведения мониторинга в реальном масштабе времени.

Использование ГИС делает возможным решение задачи экологического мониторинга в реальном времени. Поступающие от метеорологических датчиков и датчиков транспортных потоков данные могут анализироваться в течение нескольких минут после возникновения опасной ситуации, и при обнаружении катастрофически неблагоприятных ситуаций возможно оперативное принятие мер.

2. Возможность осуществления сквозного временного анализа.

С использованием ГИС и автоматических датчиков становится возможным использовать шкалу времени с малым шагом дискретизации, что означает гарантию учёта всех без исключения возникающих экологических ситуаций, в том числе и чрезвычайных, а также – точную информацию о динамике развития ситуации.

3. Практически неограниченно увеличивать количество анализируемых параметров, например показаний датчиков, регистрирующих транспортные и метеорологические характеристики.

При использовании ГИС появляется возможность значительно, в тысячу и более раз, увеличить число анализируемых параметров, например, показаний датчиков интенсивности транспортных потоков, показаний газоанализаторов и т.д. Это означает качественно большую полноту анализа и статистическую достоверность результатов. Особенно эффективно это проявляется совместно с упоминавшейся ранее шкалой времени с малым шагом дискретизации.

4. Возможность сценарного оперирования гипотезами в реальном времени.

Например, посредством ГИС возможно проводить анализ гипотез при моделировании основных процессов, связанных с расчётом концентраций и рисков. В качестве гипотез могут выступать как определённые значения исходных данных (или их части), так и структура модели атмосферных процессов.

Для использования ГИС в качестве стандартного инструмента организации информационного процесса мониторинга экологической безопасности транспортных систем не лишне напомнить о других их особенностях.

В ГИС [2] цифровое моделирование позволяет осуществлять векторно-топологическое моделирование, буферизацию объектов, анализ сетей, построение моделей местности и др. В инструментальных системах поддерживается набор моделей пространственных данных: векторные и растровые модели, квадрат дерева, линейные сети. Модули и приложения образуют единую пользовательскую среду. К ядру подключаются тематически ориентированные модули.

ГИС работают с различными моделями данных [2], основная среди которых – реляционная модель данных. Преимуществом организации данных в ГИС является то, что параметры реальной транспортной системы могут представляться в трех контекстах: пространственном, временном и тематическом. Имеем ценную триаду признаков: место, время, предмет.

Оверлейной структурой служит цифровая карта, которая может быть организована как множество слоев. Слои могут быть как векторными, так и растровыми, причем векторные слои обязательно имеют одну из трех характеристик векторных данных, то есть векторный слой должен быть определен как точечный, линейный или ареальный

дополнительно к его тематической направленности. Совокупность слоев образует интегрированную основу графической части ГИС (рис. 2).

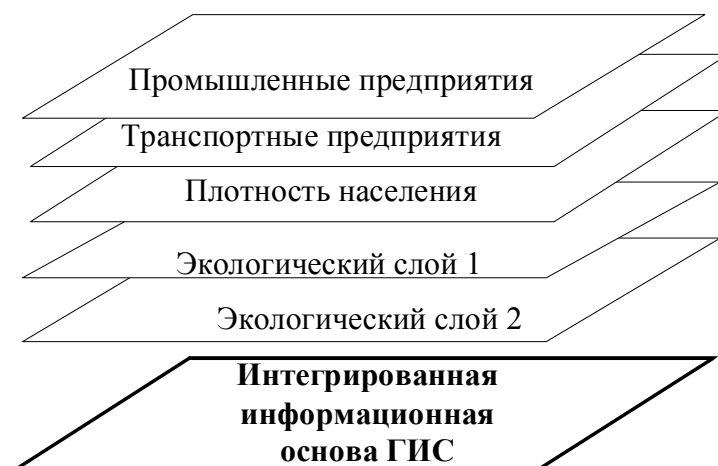


Рис. 2. Пример слоев интегрированной транспортно-экологической ГИС

Данные, размещенные на слоях, могут обрабатываться как в интерактивном, так и в автоматическом режиме. С помощью системы фильтров или заданных параметров объекты, принадлежащие слою, могут быть одновременно масштабированы, перемещены, скопированы, записаны в базу данных.

Введение топологических свойств в графические данные ГИС позволяет решать такую важную задачу, как наложение слоев для получения нового слоя, который не является простым результатом наложения, а содержит новые объекты, полученные на основе пространственного анализа с использованием логических операций. В целом сочетание методов топологии и послойного представления картографической информации дает качественно новые возможности анализа картографических данных и транспортных сетей.

При моделировании в ГИС транспортных систем выделяют следующие программно-технологические блоки [3]: 1) операции преобразования форматов и представленных данных; 2) проекционные преобразования; 3) геометрический анализ; 4) оверлейные операции; 5) функционально-моделирующие операции.

Весьма важно то, что основу анализа транспортных сетей в ГИС определяет исследование связей между объектами, что задается топологией векторной модели. Таким образом, топологические свойства способны выражать целое множество возможных существенных отношений между исследуемыми объектами и применять целый ряд полезных алгоритмов, например поиск путей, аллигацию и районирование. В последнее время появились специализированные ГИС экологической направленности либо в универсальных ГИС развивают специализированный экологический блок [3].

В среде разработчиков ГИС динамично развивается компания Manifold Net со своим одноименным продуктом. Manifold – полнофункциональная ГИС. Она принимает почти все форматы данных, сканирует различные сетевые структуры, создавая модели файловых систем и Web-сайтов, обладает множеством аналитических функций (например, 100 задач сетевого, пространственного и геометрического анализа). Возможности Manifold расширяют тематические приложения, среди которых есть Topology Factory – для создания топологически корректных пространственных данных. В Manifold имеется значительный набор средств и для обеспечения экологического наблюдения (мониторинга). Разнообразие средств, динамичность развития и открытость Manifold System свидетельствуют об огромных возможностях совершенствования как проектирования транспортных систем, так и анализа их безопасности, открывающихся перед разработчиками и исследователями с появлением названного продукта.

Можно выделить основные особенности и этапы использования ГИС при организации информационного процесса эко мониторинга [3]. Если, например, в управлении землепользованием или в ведении городского хозяйства одним из основных результатов является новая информация, получаемая на основе обработки имеющихся данных, то при решении вопросов безопасности и экологии с помощью ГИС выделяются несколько иные акценты. Так в ходе экологического мониторинга осуществляют сбор и совместную обработку данных, относящихся к различным природным средам, моделирование и анализ экологических процессов и тенденций их развития, а также использование данных при принятии решений по управлению качеством окружающей среды.

Результат исследования экологической безопасности, как правило, представляет собой оперативные данные трех типов: констатирующие (измеренные параметры состояния экологической обстановки в момент обследования), оценочные (результаты обработки измерений и получение на этой основе оценки экологической ситуации), прогнозные (прогнозирующие развитие обстановки на заданный период времени).

Из этого следует, что в транспортно-экологических ГИС применяются в первую очередь динамические модели [1]. В силу этого большую роль в них играют технологии создания электронных карт. Перечисленная ранее совокупность отмеченных трех типов данных составляет основу транспортно-экологического мониторинга.

Особенностью представления данных в системах экологического мониторинга является то, что на транспортно-экологических картах ареальные геообъекты представлены в большей степени, чем линейные. Относительно цифрового моделирования принципиальным следует считать использование цифровых моделей типа цифровая модель явления, поле и т.п.

На уровне сбора информации наряду с топографическими характеристиками дополнительно определяются параметры, характеризующие транспортную и экологическую обстановку. Это увеличивает объем атрибутивных данных в транспортно-экологических ГИС по сравнению с типовыми ГИС. Соответственно, возрастает роль семантического моделирования [3].

На уровне моделирования можно использовать специальные методы расчета параметров, характеризующих транспортно-экологическое состояние среды и определяющих форму представления цифровых карт. На уровне представления при транспортно-экологических исследованиях загрязнения воздушной среды, например, вредными (загрязняющими) выбросами с ОГ автотранспорта, осуществляют выдачу не одной, а, как правило, серии карт, особенно при прогнозировании чрезвычайных явлений, связанных с неблагоприятными транспортно-метеорологическими условиями. В некоторых случаях карты выдаются с применением методов динамической визуализации, что особенно ценно при совмещении транспортного процесса, например, с метеопрогнозами, что можно демонстрировать на телемониторах.

Особенности организации информационного процесса транспортно-экологического мониторинга большого города

Главной задачей городского экомониторинга является получение комплексной оценки транспортно-экологической и дорожной ситуации в городе на базе интеграции всех видов данных, поступающих от различных источников информации и организаций. Интеграционной основой множества данных, естественно, является карта. Следовательно, для решения задач экомониторинга города ГИС подходят как нельзя лучше.

Структура системы транспортного экомониторинга крупного города может включать два уровня.

Нижний уровень системы должен включать:

– федеральные, городские и ведомственные подсистемы специализированных мониторингов (мониторинг воздействия на атмосферу, на здоровье населения,

радиологический мониторинг, мониторинг санитарной очистки территории города, мониторинг недр и подземных вод, почв, зелёных насаждений, акустический мониторинг, градостроительный мониторинг);

– территориальные центры сбора и обработки данных, созданные на базе территориальных отделений, например, городской администрации.

Эти подсистемы обеспечивают сбор полной и, по возможности, качественной информации об изменениях состояния окружающей среды на всей территории города. В информационных центрах проводится также анализ первичных данных и их отбор для передачи на верхний уровень.

Территориальные центры обеспечивают сбор информации по источникам антропогенного загрязнения на территории административных округов и используют данные территориальных подразделений федеральных служб и городских хозяйственных организаций.

Верхний уровень системы мониторинга экологической безопасности составляет информационно-аналитический центр. В задачи верхнего уровня системы входят:

– оперативная оценка транспортно-экологической ситуации в городе;
– расчет интегральных оценок и рисков экологической ситуации;
– прогноз развития транспортно-экологической обстановки;
– подготовка проектов управляющих воздействий и оценка эффективности принимаемых решений по обеспечению безопасности на уровне приемлемых рисков [3].

Очевидно, что такого рода информационная система транспортного экомониторинга имеет ярко выраженный распределенный характер. Поэтому она должна выстраиваться на основе распределенной информационной сети.

Для эффективного использования накапливаемых данных необходимы комплексная обработка и совершенные методы моделирования представления данных. ГИС являются оптимальным средством представления и анализа пространственно-распределенных транспортно-экологических данных.

Интеграция данных подсистем специализированных мониторингов в единую систему в едином информационном процессе может осуществляться двумя путями:

– на основе конвертирования форматов, данных в единый для всей системы формат;
– на основе выбора единого программного обеспечения ГИС.

Для региональной системы мониторинга должен существовать программный комплекс, обеспечивающий решение задач территориальных отделений под эгидой комитетов по охране окружающей среды крупных и средних городов, который должен выполнять следующие функции:

– формирование и ведение баз транспортно-экологической информации по территориям, предприятиям, транспортным коммуникациям, средовым системам (воздух, вода, почва);

– ведение базы данных нормативно-законодательных документов в области транспортной экологии;

– ведение базы данных выбросов загрязняющих веществ по типам и категориям транспортных средств, нормативов содержания загрязняющих веществ в воздухе, воде, почве и продуктах питания;

– ведение базы данных приборов и специализированного оборудования транспортно-экологического контроля.

Кроме ведения баз данных должны быть предусмотрены работы по моделированию и получению тематических карт. В частности, в информационном процессе должны, например, производиться следующие виды расчетов: внешние издержки от функционирования транспортных систем, расчет платежей за использование природных ресурсов, расчет полей концентраций загрязняющих веществ в атмосфере, воде и почве, акустических нагрузок и т.д.

Система транспортно-экологического мониторинга должна предусматривать обмен данными между участниками организации информационного процесса. Поэтому одним из главных требований, предъявляемых к программному обеспечению всех подсистем, является возможность конвоирования файлов, данных в стандартные форматы (например, dbf для файлов баз данных и DXF для графических файлов).

При создании системы транспортного экомониторинга крупного города (региона) должна использоваться единая система координат для всех подразделений комплексного информационного процесса [3]. Все геоинформационные (включая транспортно-экологические) данные должны иметь единую координатную привязку, и тогда при обмене информацией в цифровом виде не возникнет технологических сложностей.

Примеры реализации информационных процессов транспортно-экологического мониторинга в Санкт-Петербурге с применением ГИС

В Санкт-Петербурге разработаны и действуют средства контроля загрязнения воздушной среды ОГ автотранспорта с применением ГИС [5, 6].

Разработанные расчетные и экспериментально-расчетные методы прогнозирования чрезвычайно опасного загрязнения воздушной среды в окрестности автомагистралей при неблагоприятных метеорологических условиях в периоды интенсивной эксплуатации автомобильного транспорта (часы «пик») на основе ГИС составили основу информационных процессов мониторинга качества воздушной городской среды [5]. На рис. 3 в качестве примера показана структура инструментально-расчетной информационной системы, реализующей информационный процесс мониторинга для локального «on-street» уровня – городской автомагистрали.

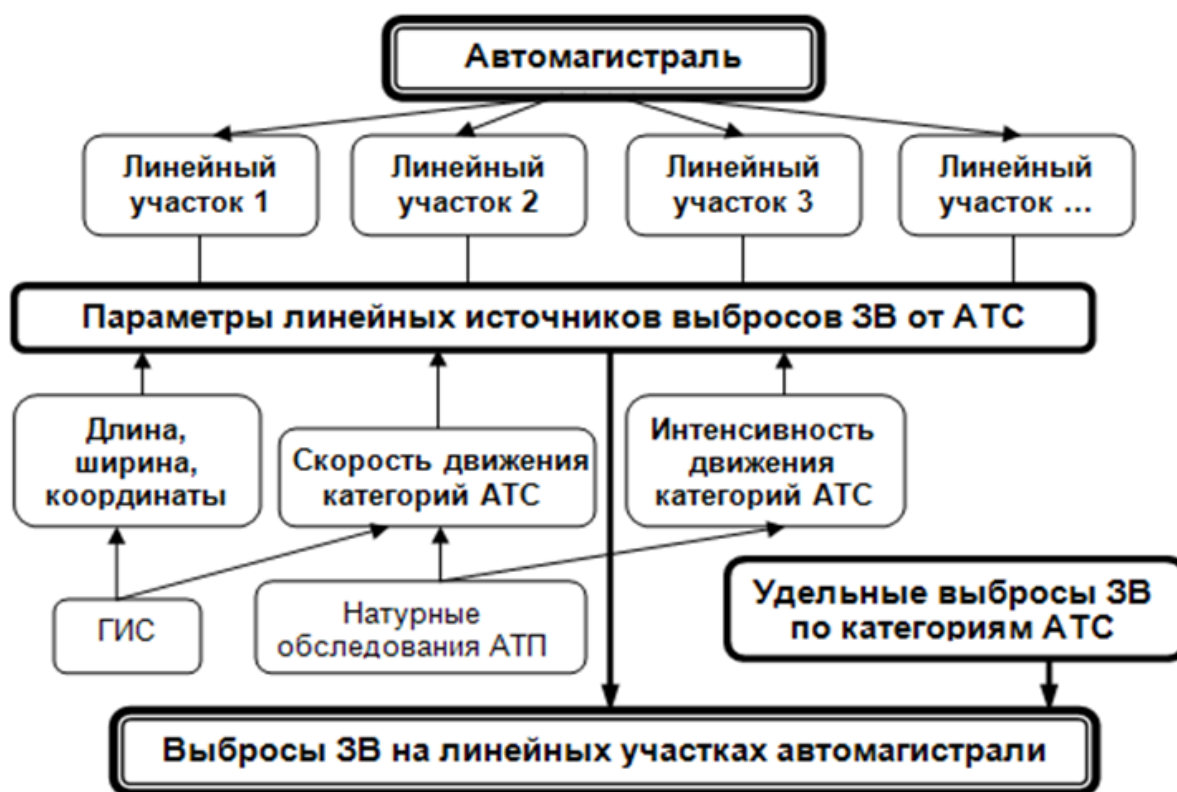


Рис. 3. Структура методологии оценки загрязнения атмосферы на автомагистрали при неблагоприятных метеоусловиях в часы «пик» (ЗВ – загрязняющие вещества; АТС – автотранспорт)

Информационная система позволяет оценивать превышение расчетных значений концентраций вредных веществ ОГ (CO, CH, NO, NO₂, SO₂, ПМ₁₀, ПМ_{2,5}, бензо(а)пирена, формальдегида) над предельно-допустимыми значениями максимальных разовых концентраций (ПДК_{М.р.}) этих веществ в окрестности автомагистрали [6]. На рис. 4 в качестве примера показана карта прогноза экстремального загрязнения проблемным для Санкт-Петербурга веществом диоксидом азота (NO₂) в окрестности кольцевой автомагистрали Санкт-Петербурга (КАД) для неблагоприятных транспортно-метеорологических условий.

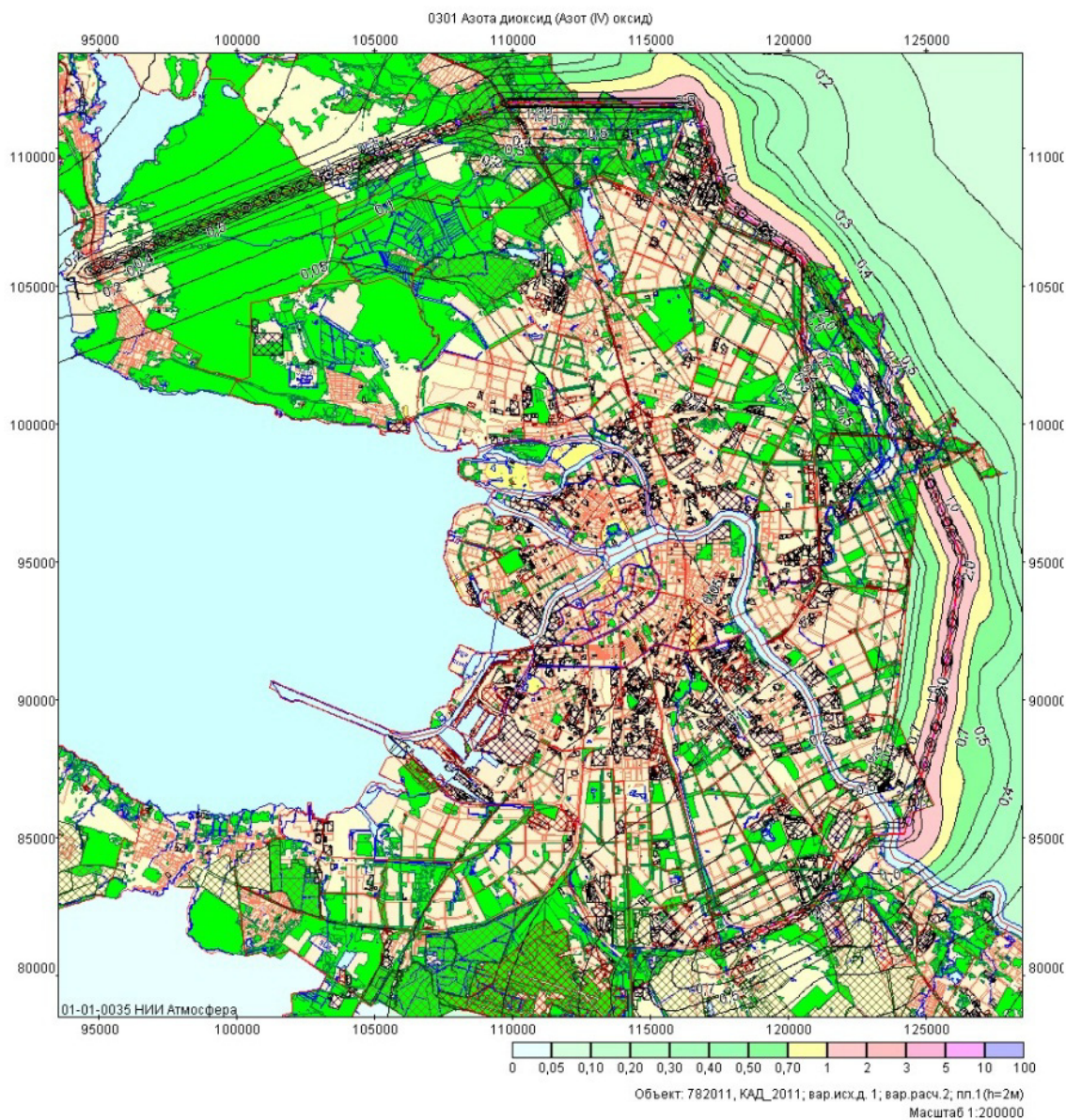


Рис. 4. Карта прогноза экстремального загрязнения воздуха диоксидом азота NO₂ в окрестности КАД Санкт-Петербурга

Разработанная с участием авторов, методология информационного процесса реализована в «Методике расчета годовых выбросов автотранспорта на автомагистралях Санкт-Петербурга» Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга 2012 г. Следует отметить, что разработанная методика гармонизирована с европейскими ездовыми

циклами по Директиве 2007/46/ЕС – утверждение типа транспортных средств и имеет программное обеспечение фирмы «Интеграл» [5].

Начиная с 2002 г. авторами, совместно с ОАО «НИИ Атмосфера», регулярно экспериментально-расчетным путем обследуются все основные автомагистрали Санкт-Петербурга. Согласно расчетным данным, вблизи прилегающих к автомагистралям застроек при интенсивности движения автомобилей более 3000 авт./ч в сочетании с неблагоприятными метеорологическими условиями (штилевой погоде, высокой инсоляции) возможно формирование в приземном воздушном слое концентраций диоксида азота NO₂, в два–четыре раза превышающих предельные значения ПДКм.р. (рис. 4).

Как было ранее отмечено, разработанная методика позволяет прогнозировать чрезвычайно опасные ситуации загрязнения воздуха для неблагоприятных транспортно-метеорологических условий. При этом, как правило, в Санкт-Петербурге складываются благоприятные условия для рассеивания примесей, и, по данным мониторинга (www.infoeco.ru), в городе нечасто ежегодно наблюдаются закономерно повторяемые случаи высокого загрязнения атмосферного воздуха. Концентрации оксида азота NO, диоксида азота NO₂, угарного газа СО и взвешенных частиц ПМ₁₀ при этом остаются в пределах санитарно-гигиенических нормативов. Согласно с данными наших измерений концентраций взвешенных частиц ПМ₁₀ непосредственно на проезжей части дорог Санкт-Петербурга возможны локальные сверхнормативные загрязнения воздуха (флуктуации) [6].

Исследования [5, 6] показали, что обновление парка на транспортные средства Евро-4,5 является главным инструментом оздоровления городской воздушной среды.

Литература

1. Педагогический Интернет-клуб. URL: <http://club-edu.tambov.ru/methodic/2007/gis/content.html>. (дата обращения: 20.09.2016).
2. Цветков В.Х. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998. 286 с.
3. Котиков Ю.Г., Ложкин В.Н. Транспортная энергетика: учеб. пособие / под ред. Ю.Г. Котикова. М.: Изд. центр «Академия», 2006. 272 с.
4. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. / В.С. Артамонов [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2009. 482 с.
5. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V., Ushakov A.A. Using K-Theory in Geographic Information Investigations of Critical-Level Pollution of Atmosphere in the Vicinity of Motor Roads // World Applied Sciences Journal (Problems of Architecture and Construction). 2013. V. 23. pp. 1 818–4 952.
6. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N. Estimation of nitrogen ox-ides emissions from petrol and diesel passenger cars by means of on-board monitoring: effect of vehicle speed, vehicle technology, engine type on the emission rates // Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 47. August 2016. P. 251–264.

References

1. Pedagogicheskij Internet-klub. URL: <http://club-edu.tambov.ru/methodic/2007/gis/content.html>. (data obrashcheniya: 20.09.2016).
2. Cvetkov V.H. Geoinformacionnye sistemy i tekhnologii. M.: Finansy i statistika, 1998. 286 s.
3. Kotikov Yu.G., Lozhkin V.N. Transportnaya ehnergetika: ucheb. posobie / pod red. YU.G. Kotikova. M.: Izd. centr «Akademiya», 2006. 272 s.
4. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyj risk: ucheb. / V.S. Artamonov [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2009. 482 s.
5. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V., Ushakov A.A. Using K-Theory in Geographic Information Investigations of Critical-Level Pollution of Atmosphere in the Vicinity of Motor Roads // World

Applied Sciences Journal (Problems of Architecture and Construction). 2013. V. 23. pp. 1 818–4 952.

6. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N. Estimation of nitrogen ox-ides emissions from petrol and diesel passenger cars by means of on-board monitoring: effect of vehicle speed, vehicle technology, engine type on the emission rates // Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 47. August 2016. P. 251–264.