

*На правах рукописи*

БОРОВЛЕВ Андрей Эдуардович

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
ВЛИЯНИЯ АЭРОТЕХНОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ  
НА СОСТОЯНИЕ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА И ТЕРРИТОРИИ  
ГОРОДА БЕЛГОРОДА**

Специальность 25.00.36 «Геоэкология» (Науки о Земле)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

МОСКВА – 2016

Работа выполнена на кафедре географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Научный руководитель	<b>Лисецкий Федор Николаевич</b> доктор географических наук; профессор; ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», профессор кафедры природопользования и земельного кадастра
Официальные оппоненты:	<b>Луговской Александр Михайлович</b> доктор географических наук; доцент; ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет», профессор кафедры географии
	<b>Епринцев Сергей Александрович</b> кандидат географических наук; доцент; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды
Ведущая организация	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Защита диссертации состоится «31» мая 2016 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.025.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Государственный университет по землеустройству» по адресу: 105064, Москва, ул. Казакова, д. 15.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте [www.guz.ru](http://www.guz.ru) и в библиотеке ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству».

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Хуторова Алла Олеговна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования.**

Рост числа и размеров городов происходит на фоне таких социальных трендов, как увеличение доли городского населения и затрат на охрану окружающей среды, а также социального тренда, связанного с ростом заболеваемости и смертности от загрязнения воздуха. В последние годы значительно интенсифицировался поиск оптимальных решений обеспечения экологической безопасности воздушного бассейна урбанизированной территории на основе исследований по выявлению приоритетных загрязняющих веществ (ЗВ) и созданию региональных систем мониторинга качества атмосферного воздуха. Теоретические подходы к изучению данной проблемы обоснованы во многих трудах отечественных и зарубежных ученых по урбоэкологии и мониторингу окружающей среды (Берлянд, 1985; Тетиор, 2008; Рязанов, 2011; Brauer, 2012 и др.).

Одними из основных источников информации об аэротехногенном воздействии на состояние воздушного бассейна урбанизированной территории являются проекты нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) для предприятий. Эти проекты разрабатываются с учетом фоновых концентраций ЗВ, определяемых по данным мониторинга атмосферного воздуха. Однако во многих крупных промышленно развитых городах России контроль загрязнения атмосферы проводится по ограниченному перечню ЗВ методом «ручного отбора» и не обеспечивает территориальный охват в разрезе функциональных зон урбоэкосистем. Поэтому проекты нормативов ПДВ для предприятий разрабатываются без учета фонового загрязнения по широкому спектру приоритетных ЗВ. В то же время современные геоинформационные системы (ГИС) позволяют интегрировать информацию по всем источникам аэротехногенного загрязнения и с использованием расчетных моделей получить пространственную картину распределения приоритетных ЗВ в атмосферном воздухе, а также выполнить аналитические процедуры и на основе геоэкологической оценки разработать более «жесткие» нормативы ПДВ для предприятий по сравнению с практикой разработки нормативов выбросов для отдельного предприятия. Таким образом, актуальной научной задачей является разработка аналитической ГИС как информационного и аналитического ресурса поддержки принятия решений по регулированию качества воздушного бассейна промышленно развитого города.

Указанные проблемы актуальны и для г. Белгорода – крупного промышленного города Центрального Черноземья, который имеет многочисленные источники аэротехногенного загрязнения, разветвленную промышленно-транспортную структуру, сложную архитектурно-планировочную организацию городской застройки, и, как следствие этого, – условия для формирования зон с повышенным уровнем ЗВ и появления экологически обусловленных заболеваний населения. Белгород типичен для урбанизированных центров Европейской части страны, что позволяет на примере его геоэкологической ситуации разработать аналитическую ГИС для поддержки принятия решений по регулированию качества воздушного бассейна территории промышленно развитого города.

**Объектом исследования** является геосистема и геоэкологическое состояние окружающей среды города Белгорода.

**Предмет исследования:** анализ полей аэротехногенного загрязнения городской

среды на основе ГИС-технологий.

**Цель исследования:** геоэкологическая оценка влияния аэротехногенных выбросов на состояние воздушного бассейна и территории г. Белгорода, а также разработка рекомендаций по снижению техногенной нагрузки на компоненты окружающей среды города.

Для достижения поставленной цели последовательно решались следующие **задачи:**

1. Создать полнофункциональную базу данных источников выбросов ЗВ в атмосферный воздух г. Белгорода.

2. Выполнить оценку загрязнения воздушного бассейна выбросами предприятий и автотранспорта.

3. Выявить особенности аэротехногенной нагрузки на атмосферный воздух и почвенный покров г. Белгорода.

4. Разработать рекомендации по совершенствованию системы экологического контроля промышленных выбросов ЗВ в атмосферу и предложения по установлению нормативов ПДВ для г. Белгорода.

5. Разработать функциональные блоки, структуру базы данных и систему управления ими в составе геоинформационной аналитической системы урбоэкологического назначения для поддержки принятия решений по регулированию качества воздушного бассейна г. Белгорода.

**Теоретико-методологическую основу** диссертационного исследования составили методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86), экспериментальные данные по контролю аэрозольных выбросов, а также методические подходы к нормированию аэротехногенных выбросов на основе сводных расчетов загрязнения атмосферы городов (разработан АО «НИИ Атмосфера») и к оценке устойчивости почв к аэротехногенному воздействию (рассмотрен в работах В.Н. Башкина, М.А. Глазовской, М.И. Герасимовой, А.С. Курбатовой, А.П. Сизова, J. Breuste и др.).

**Материалы исследования.** Основу работы составили полученные автором результаты сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха территории г. Белгорода выбросами промышленности и автотранспорта на основе универсальной программы расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог», измерений содержания взвешенных частиц в приземном слое атмосферы анализатором *Dust Trak 8520* и в факеле промышленного выброса – многоволновым лидаром МВЛ-60. В исследовании применяли следующие **методы:** дистанционного зондирования атмосферы, картографический, математико-статистический, методы математического моделирования и системно-функционального анализа. Особое внимание уделено внедрению ГИС-технологий в предметной области научного исследования. Анализ пространственного распределения ЗВ в атмосферном воздухе и территории города выполнен в ГИС методами оверлея, интерполяции и пространственной статистики.

**Достоверность и обоснованность результатов** исследований, научных положений и выводов обеспечивается значительным объемом обработанного фактического материала натурных исследований и проектов нормативов ПДВ предприятий Белгорода; подтверждается данными экспериментальных исследований, полученных при использовании современного оборудования и средств измерений,

актуальных картографических материалов, сертифицированного программного обеспечения для расчета загрязнения атмосферы, а также согласованностью с результатами, полученными другими авторами.

**Научная новизна работы** определяется тем, что впервые на основе базы данных источников аэротехногенного загрязнения и расчетов загрязнения атмосферы г. Белгорода выбросами промышленности и автотранспорта установлен приоритетный перечень в количестве 23 ЗВ для экологического контроля; разработана методика оценки загрязнения воздушного бассейна и подстилающей поверхности промышленно развитого города выбросами твердых ЗВ с учетом состава и нормируемых размеров взвешенных частиц на основе расчетных методов и ГИС-анализа; установлено преобладающее долевое участие выбросов взвешенных частиц с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм (PM10) и менее 2,5 мкм (PM2,5) от 7-ми высоких источников производств строительных материалов (18,6-43,1%) из 1378 стационарных источников выбросов твердых ЗВ в загрязнение атмосферного воздуха жилой зоны г. Белгорода; показана возможность использования лидарных измерений для оперативного контроля выбросов взвешенных частиц PM10 и PM2,5 с получением представлений о трехмерном распространении ЗВ; разработана геоинформационная аналитическая система урбоэкологического назначения для поддержки принятия решений по регулированию качества воздушного бассейна промышленно развитого города на основе применения авторской методики оценки загрязнения приземного слоя атмосферы и подстилающей поверхности с учетом состава и нормируемых размеров взвешенных частиц.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Экологическая оценка качества воздушного бассейна промышленно развитого города, определение перечня приоритетных загрязняющих веществ и вкладов источников аэротехногенных выбросов в загрязнение атмосферы (на примере города Белгорода).

2. Алгоритм и программные решения оценки загрязнения воздушного бассейна промышленно развитого города взвешенными частицами PM10 и PM2,5 с использованием дистанционных методов контроля выбросов твердых загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

3. Интегральная оценка устойчивости почв к аэротехногенному воздействию в разрезе функционального зонирования промышленно развитого города.

4. Геоинформационная аналитическая система урбоэкологического назначения, включающая функциональные блоки, базы данных и систему управления ими, как информационный и аналитический ресурс для поддержки принятия решений по регулированию качества воздушного бассейна промышленно развитого города.

**Практическая значимость результатов исследования** определяется тем, что они рекомендованы для использования в работе предприятий, природоохранных служб и органов муниципального управления при планировании и разработке экологических программ и проектов, а также могут быть использованы для геоэкологической оценки урбанизированных территорий, организации контроля промышленных выбросов в атмосферу частиц PM10 и PM2,5 на основе лидарного метода измерений. Материалы диссертации вошли в научные отчеты по гранту РФФИ «Разработка метода оперативной оценки степени техногенного загрязнения»

воздушного бассейна города (региона) на основе комплексных измерений, моделирования и ГИС» (№ 06-02-96320»), гранту РФФИ «Мониторинг техногенного воздействия и рациональное природопользование в действующих и вновь создаваемых промышленных районах» (№ 09-05-97505), государственному контракту «Оценка дисперсного состава пылегазовых выбросов предприятий и исследование загрязнения атмосферы промышленного центра взвешенными частицами с использованием измерительного лидарного комплекса БелГУ» (№ гос. рег. 0120120561), хоздоговорным темам № 707/05 «Разработка сводного тома «Охрана атмосферы и ПДВ г. Белгорода», № 3/11 «Разработка проекта нормативов ПДВ для ЗАО «Белгородский цемент». Эффективность исследований подтверждена справками о внедрении в практическую деятельность администрацией г. Белгорода и ЗАО «Белгородский цемент».

**Личный вклад автора.** Диссертационная работа является самостоятельно выполненным научным трудом. Все научные результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично. Из научных трудов, опубликованных в соавторстве, в работе использованы лишь те идеи и положения, которые являются результатом личной работы соискателя.

**Апробация работы.** Материалы диссертационной работы доложены автором на следующих научно-практических конференциях: Международной конференции «Экология: образование, наука, промышленность и здоровье», (Белгород, 2004 г.), II Международной конференции-выставке «Экологические системы, приборы и чистые технологии» (Москва, 2007 г.), III, IV и V Международных конференциях «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах» (Белгород, 2008, 2010, 2013 гг.). Разработка «Геоинформационная аналитическая система «Эко-город» получила в 2012 г. национальный сертификат качества №01031 Российской Академии естествознания в номинации «Наука и технологии».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, в том числе 11 работ – в ведущих рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК РФ. Получено 4 авторских свидетельства об официальной регистрации баз данных и программ для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня сокращений, библиографического списка из 238 наименований (из них 24 на английском языке) и 3-х приложений. Основной текст диссертации изложен на 137 страницах машинописного текста и содержит 17 таблиц и 34 рисунка.

## ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**1. Экологическая оценка качества воздуха промышленно развитого города, определение перечня приоритетных загрязняющих веществ и вкладов источников аэротехногенных выбросов в загрязнение атмосферы (на примере города Белгорода).**

В 2014 г. выброс ЗВ составил по г. Белгороду 63,6 тыс. т. или 167,5 кг на одного жителя и 415,1 т/км<sup>2</sup>. В объеме выбросов ЗВ доля стационарных источников составляет 11,5%, автотранспорта – 88,5%. Выбросы ЗВ от автотранспорта за

последние пять лет увеличились на 25,7%. Основными ЗВ воздушного бассейна являются оксид углерода (вклад в объеме выбросов ЗВ составляет 60,9%), оксиды азота (21,5%), твердые вещества (2,5%), диоксид серы (1,1%). В структуре выбросов ЗВ преобладают газообразные и жидкие фракции (97,5%) с основным вкладом автотранспорта (89,8%). По твердым ЗВ основной вклад в загрязнение воздушного бассейна (97,5%) вносят выбросы от стационарных источников. Около 98,0% объема выбросов ЗВ от стационарных источников приходится на 56 крупных предприятий промышленного комплекса (производства строительных материалов, машиностроения и металлообработки, пищевых продуктов и др.), расположенных в основном в двух промышленных зонах – Западной и Восточной.

Для оценки качества воздушного бассейна г. Белгорода автором использованы данные территориальной сети мониторинга Росгидромета на 4-х стационарных постах наблюдения за загрязнением атмосферы (СПНЗА) по 11 ЗВ (азота диоксид и оксид, аммиак, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, водород хлористый, серы диоксид, серная кислота, углерода оксид, фенол, формальдегид), расположенных в трех (Центральном, Южном и Восточном) из четырех планировочных районах Белгорода. Экстремально высоких значений превышения максимальной разовой ПДК (ПДК<sub>М.Р.</sub>) за пятилетний период наблюдений по городу не зафиксировано. Значения среднегодовых концентраций 10 ЗВ не превышали уровня ПДК и лишь по бенз(а)пирену наблюдались превышения до 1,7 ПДК. При расчете индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) приоритетными ЗВ для г. Белгорода являются: азота диоксид, бенз(а)пирен, аммиак, взвешенные вещества, углерода оксид. Величины ИЗА можно оценить как повышенные в 2010 г. и 2011 г. (5,27 и 5,53 соответственно) и как низкие за последние три года (ИЗА – 4,88; 4,77; 3,73). Автором установлено, что в порядке приоритета ведущими индикаторами сезонного загрязнения атмосферы Белгорода являются бенз(а)пирен, азота диоксид и взвешенные вещества. Массовым методом на СПНЗА определяется только сумма взвешенных веществ, обозначаемая как TSP (*total suspended particulate*), а анализ содержания в ней вредных примесей и нормируемых частиц PM10 и PM2,5 не проводится. В одном из планировочных районов города (Западном) мониторинг отсутствует, в другом (Восточном) – не определяются приоритетные ЗВ (азота диоксид, углерода оксид, взвешенные вещества). Поэтому результативность данных мониторинга на СПНЗА г. Белгорода нельзя признать удовлетворительной из-за их низкой информативности как в качественном, так и в территориальном аспектах.

В связи с тем, что данные существующей мониторинговой сети г. Белгорода оказались недостаточными для экологической оценки качества воздушного бассейна городской среды и определения вкладов источников выбросов промышленных предприятий и автотранспорта в уровень загрязнения атмосферы, автором использован расчетный метод математического моделирования рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе на основе методики, утвержденной в общегосударственном порядке (в настоящее время – ОНД-86). Использование расчетной схемы ОНД-86 в указанных целях методически проработано в ряде работ (Берлянд и др., 1990; Оникул, 2007) и позволяет проводить оценку влияния выбросов ЗВ с достаточно высокой степенью достоверности (Волкодаева, Полуэктова, 2008).

Для оценки вклада промышленных предприятий и автотранспорта в уровень

загрязнения атмосферного воздуха г. Белгорода и нормирования их выбросов разработана база данных (БД) Сводного тома ПДВ (Боровлев, Соловьев и др., 2008), включающая параметры выбросов 2726 ИВ 56 предприятий и автомагистралей (и их участков) с интенсивностью движения более 300 автомобилей в час (258 участков улично-дорожной сети). В разработанной БД содержится информация по ЗВ: атрибутивные характеристики (название, код, класс опасности, значения ПДК), нормативы ПДВ, расчетные максимальные приземные концентрации ( $C_{max}$ ) в точках контроля на границе единой санитарно-защитной зоны (СЗЗ) промышленных узлов, жилой и рекреационной зон с детализация вкладов ИВ предприятий, в т. ч. с учетом классификации источников по высоте. На основе БД производили определение долевого вклада предприятия в загрязнение атмосферного воздуха в точках контроля с детализации вкладов ИВ в величину  $C_{max}$ .

В результате проведения расчетов загрязнения атмосферы выбросами промышленности и автотранспорта (сводные расчеты) в теплый и холодный периоды года с использованием УПРЗА «Эколог 3.0» автором получены карты распределения приземных концентраций на территории города для 95-ти ЗВ, формирующих в жилой зоне уровни более 0,1 ПДК. Установлено, что наибольшие превышения ПДК<sub>М.Р.</sub> в жилой и рекреационной зонах города наблюдаются в теплый период года по пяти ЗВ (таблица 1).

Таблица 1 – Приземные концентрации приоритетных ЗВ г. Белгорода

Наименование ЗВ	Максимальная приземная концентрация в теплый период, в долях ПДК <sub>М.Р.</sub>			
	существующее положение (2014 г.)		перспектива (2017 г.)	
	в жилой зоне	в рекреационной зоне	в жилой зоне	в рекреационной зоне
Азота диоксид	3,85	2,94	1,00	0,88
Бенз(а)пирен	2,16	1,48	0,38	0,26
Пыль неорганическая: SiO <sub>2</sub> 70-20%	3,10	1,46	1,00	0,77
Свинец	1,81	1,00	0,29	0,16
Углерода оксид	2,30	1,44	0,89	0,31

По азота диоксиду, бенз(а)пирену, углерода оксиду и свинцу основной вклад в величину превышения ПДК<sub>М.Р.</sub> вносит автотранспорт (78,4-99,7%), пыли неорганической: SiO<sub>2</sub> 70-20% – вносит ЗАО «Белгородский цемент» (96,7%). Установлено, что зону с превышением ПДК в жилой застройке и рекреационной зоне г. Белгорода площадью в 154,6 га (из них 128,3 га (83,0%) – в Центральном планировочном районе) формирует распределение приземных концентраций азота диоксида и пыли неорганической: SiO<sub>2</sub> 70-20% с учетом суммации: углерода оксид и пыль цементного производства (рис. 1). Превышение ПДК по азота диоксиду наблюдаются в высокоурбанизированной жилой зоне на расстоянии 50-250 м от автомагистралей с интенсивностью движения более 2000 автомобилей в час (до 250 м от пр. Б. Хмельницкого, пр. Ватутина и ул. Волчанская), суммации: углерода оксид и пыль цементного производства – до 300 м от границы Западной промышленной зоны. Расчетные приземные концентрации (см. табл. 1) сопоставимы с данными (Корнилов, 2012), полученными при проведении замеров в июле-августе 2011 г. в точках исследований на удалении 5 м от автомагистралей в высокоурбанизированной жилой

зоне г. Белгорода: азота диоксид – 3,44 ПДК, свинец – 1,56 ПДК, углерода оксид – 1,83 ПДК.

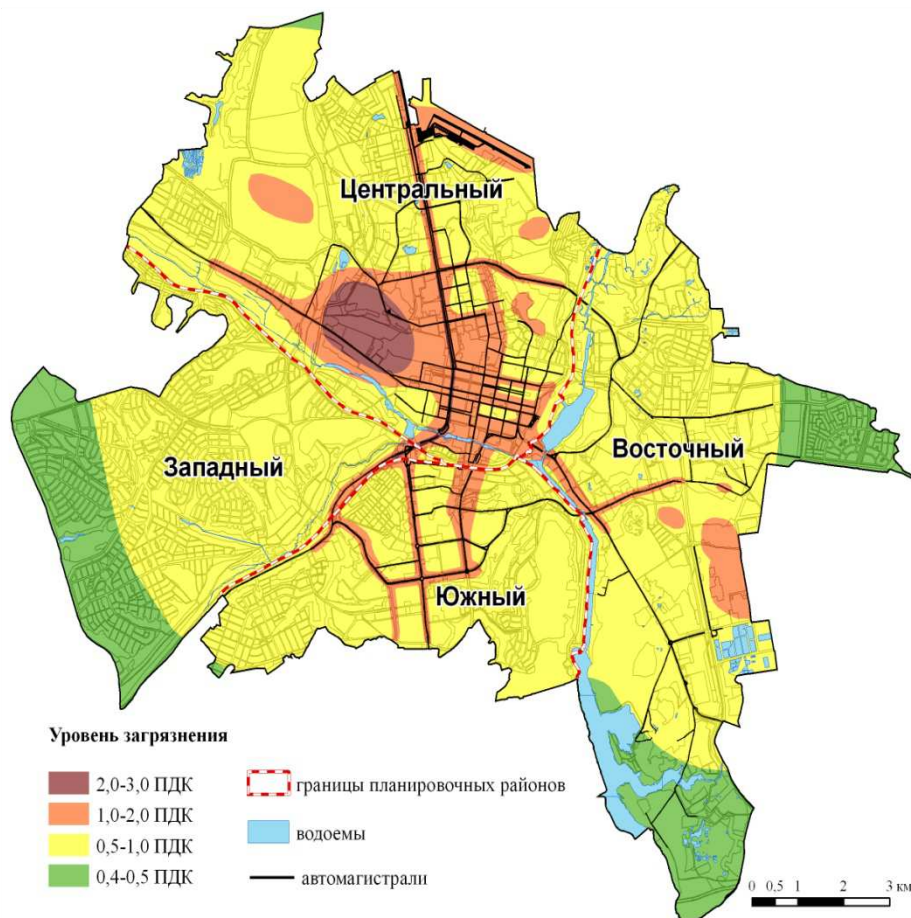


Рис. 1 – Распределение зон загрязнения атмосферы г. Белгорода в теплый период года

Результаты сводных расчетов на перспективу с учетом комплекса мероприятий, направленных на снижение выбросов предприятий и автотранспорта, показывают, что нормативы ПДК<sub>М.Р.</sub> в жилой и охранной зонах будут обеспечены по бенз(а)пирену, углерода оксиду и свинцу с учетом внедрения для всех категорий автотранспорта требований экологического стандарта Евро-4, по азота диоксиду – в результате внедрения Евро-5, по пыли неорганической: SiO<sub>2</sub> 70-20% – в результате модернизации газоочистных установок на ЗАО «Белгородский цемент». В дальнейшем (в связи с предсказуемым ростом количества автотранспортных средств) оценку эффективности планируемых мероприятий по снижению выбросов в атмосферу целесообразно проводить на основе сводных расчетов с учетом регулярного обновления БД ИВ. По результатам сводных расчетов автором установлен перечень из 23-х приоритетных ЗВ, выбросы которых дают основной вклад в загрязнение воздушного бассейна (уровень загрязнения жилой зоны 0,56-3,85 ПДК). Из них 11 относятся к твердым ЗВ, в значительных количествах (до 1825 т/г) оседающих на подстилающую поверхность городских ландшафтов. Поэтому определение уровня загрязнения воздушного бассейна промышленно развитого города частицами PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> с учетом вкладов ИВ, а также воздействия аэротехногенных выбросов твердых частиц на городские почвы является актуальной задачей геоэкологической оценки качества воздушного бассейна урбоэкосистем.

## 2. Алгоритм и программные решения оценки загрязнения воздушного бассейна промышленно развитого города взвешенными частицами PM10 и PM2,5 с использованием дистанционных методов контроля выбросов твердых загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Оценку пространственного распределения взвешенных частиц с учетом их дисперсности в атмосферном воздухе промышленно развитого города и контроль их выбросов в атмосферу на основе дистанционных методов предлагается проводить на основе разработанного автором алгоритма, включающего семь последовательно выполняемых этапов работ (таблица 2).

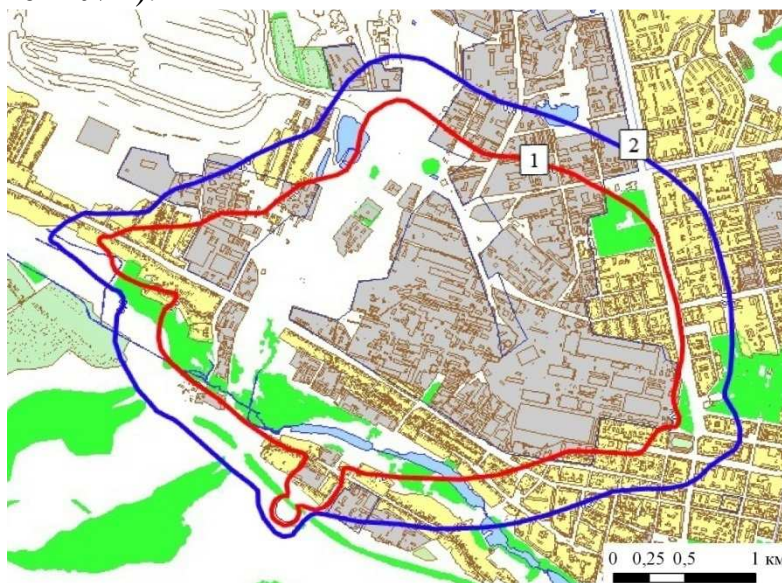
Таблица 2 – Предлагаемый алгоритм оценки загрязнения воздушного бассейна промышленно развитого города взвешенными частицами PM10 и PM2,5

№ п/п	Наименование этапа работ	Метод исследования
1	Определение ИВ, вносящих наибольший вклад в загрязнение воздушного бассейна твердыми ЗВ на основе БД Сводного тома ПДВ города	Анализ распределения объемов выбросов твердых ЗВ с учетом классификации ИВ по высоте
2	Определение массовой доли частиц PM10 и PM2,5 в выбросах от источников, вносящих наибольший вклад в загрязнение воздушного бассейна твердыми ЗВ	Электронная микроскопия
3	Инструментальные измерения приземных концентраций суммы взвешенных веществ (TSP), PM10 и PM2,5 в функциональных зонах города для определения соотношения между TSP и нормируемыми частицами	Гравиметрический метод; лазерная нефелометрия
4	Определение TSP для теплого и холодного периодов года на основе сводных расчетов загрязнения атмосферы выбросами промышленности и автотранспорта	Моделирование рассеивания выбросов ЗВ в приземном слое атмосферы
5	Сопряжение данных расчетов приземных концентраций TSP и инструментальных измерений приземных концентраций TSP, PM10 и PM2,5	ГИС-анализ результатов расчетов и инструментальных измерений
6	Оценка пространственного распределения взвешенных частиц с учетом их дисперсности в атмосферном воздухе урбанизированной территории и определение эталонных значений приземных концентраций TSP, PM10 и PM2,5 для проведения контроля выбросов взвешенных частиц	Геоинформационное картографирование полей приземных концентраций TSP, PM10 и PM2,5
7	Контроль выбросов TSP, PM10 и PM2,5 от высоких источников с использованием дистанционных методов	Лидарные измерения

На основе анализа распределения объемов выбросов твердых ЗВ с учетом высоты ИВ автором установлено доминирующее влияние на загрязнение воздушного бассейна города Белгорода взвешенными частицами семи ИВ, высотой более 50 м, по профилю промышленности строительных материалов. Доля этих ИВ в выбросе всех твердых ЗВ от 1378 стационарных источников составляет около 41%, из них ЗАО «Белгородский цемент (6 труб высотой 65-96 м) – 32,7%, ОАО «Стройматериалы» (труба высотой 65 м) – 8,3%. На основе исследования дисперсного состава пыли в выбросах от высоких источников с применением растрового ионно-электронного микроскопа *Quanta 200 3D* автором определены массовые доли взвешенных частиц: в

выбросах ЗАО «Белгородский цемент» доля  $PM_{2,5}$  составляет 42%, доля  $PM_{10}$  – 93%; в выбросах ОАО «Стройматериалы» доля  $PM_{2,5}$  – 45%, доля  $PM_{10}$  – 96%.

По результатам измерений приземной концентраций TSP,  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  в мониторинговых точках функциональных зон города с использованием пылемера «ОМПН-10,0» (на основе оптического блока *Dust Trak*, модель 8520) автором получены коэффициенты соотношения  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  к TSP равные 0,595 и 0,393 соответственно. Эти коэффициенты характеризуются определенной стабильностью и меняются в зависимости от концентрации TSP, что дает основания для упрощения процедуры оценки концентраций  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  путем их пересчета из определяемой на СПНЗА концентрации TSP. На основе ГИС-анализа результатов расчетов максимальных приземных концентраций TSP для теплого периода года с использованием коэффициентов пересчета  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  из TSP определены закономерности распределения  $C_{max}$   $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  на территории города. На основе геоинформационного картографирования полей концентраций взвешенных частиц выявлена зона с превышениями до 2,5-2,8 ПДК в жилой застройке Центрального планировочного района для  $PM_{10}$  площадью 43,2 га, для  $PM_{2,5}$  – площадью 73,5 га (2,2% площади жилой застройки) (рис. 2), где ориентировочно проживает около 26 тыс. чел. Автором установлено, что полученные превышения ПДК, формируются преимущественно 6-ю ИВ ЗАО «Белгородский цемент» (цементные силосы №№ 11-16, вращающаяся печь №4).



- 1- Изолиния приземной концентрации 1,0 ПДК<sub>М.Р.</sub>  $PM_{10}$   
 2- Изолиния приземной концентрации 1,0 ПДК<sub>М.Р.</sub>  $PM_{2,5}$

Рис. 2 – Зоны превышений ПДК<sub>М.Р.</sub>  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  на территории Центрального планировочного района г. Белгорода

Вклад семи высоких ИВ в уровень загрязнения атмосферного воздуха взвешенными частицами на СПНЗА возрастает по мере увеличения расстояния от источника и составляет для  $PM_{10}$  18,6-40,1%,  $PM_{2,5}$  – 20,8-43,1%. В случаях залповых выбросов на ЗАО «Белгородский цемент» вклад высоких ИВ в уровень загрязнения атмосферы на СПНЗА для  $PM_{10}$  составляет 73,8-84,6%, для  $PM_{2,5}$  – 81,2-93,1%.

Получение оперативной информации о превышении нормативов выбросов  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  предлагается обеспечить путем сопоставления измеряемых на СПНЗА

концентраций TSP с их расчетными значениями (эталонных концентраций), определенных на основе сводных расчетов для теплого и холодного периодов времени (таблица 3).

Таблица 3 – Эталонные приземные концентрации TSP, PM10, PM2,5 на СПНЗА г. Белгорода для проведения контроля выбросов PM10 и PM2,5 от высоких ИВ

ЗВ	Номер СПНЗА	Эталонная приземная концентрация, мг/м <sup>3</sup>		Направление ветра для контроля выбросов предприятий города		Вклад высоких ИВ, %
		теплый период года	холодный период года	ЗАО «Белгородский цемент»	ОАО «Строй-материалы»	
TSP	3	0,330	0,240	СЗ	СВ	14,6
	6	0,370	0,230	ЮЗ	З	15,3
	7	0,130	0,110	СЗ	Ю	30,8
PM10	3	0,182	0,132	СЗ	СВ	18,6
	6	0,200	0,127	ЮЗ	З	19,9
	7	0,072	0,060	СЗ	Ю	40,1
PM2,5	3	0,109	0,080	СЗ	СВ	20,8
	6	0,122	0,076	ЮЗ	З	22,3
	7	0,043	0,033	СЗ	Ю	43,1

Для решения задачи оперативного контроля выбросов частиц PM10 и PM2,5 в работе обоснована адаптация лидаров для определения параметров взвешенных частиц в факеле промышленного выброса. С участием автора разработана программа для ЭВМ по определению дисперсного состава пылегазовых выбросов предприятий промышленного центра на основе представления результатов лидарных измерений частиц PM2,5 и PM10 (Кунгурцев, Соловьев, Боровлев, 2013).

Аналитическая часть указанной программы реализует следующие сервисы:

1) Определение линейных размеров и объема аэрозольного шлейфа с разделением массивов распределения концентраций взвешенных частиц в факеле промышленного выброса на PM10 и PM2,5.

2) Отображение распределения концентраций PM10 и PM2,5 на векторной карте территории города.

3) Расчет по методике ОНД-86 фактических величин выбросов PM10 и PM2,5 при известных метеоусловиях на основе измеренных концентраций в факеле выброса и параметров выброса из проекта нормативов ПДВ предприятия.

4) Сравнение нормативных и фактических величин выбросов PM10 и PM2,5 от высоких источников, полученных с помощью дистанционных методов контроля и математического моделирования.

Пример отображения результатов лидарных измерений частиц PM10 с помощью указанной программы представлен на рисунке 3, расчетов и анализа – в таблице 4.

Таким образом, на основе предложенного алгоритма представляется возможным получить распределение приземных концентраций PM10 и PM2,5 на территории города с определением ИВ, вносящих наибольший вклад в загрязнение атмосферы взвешенными частицами.

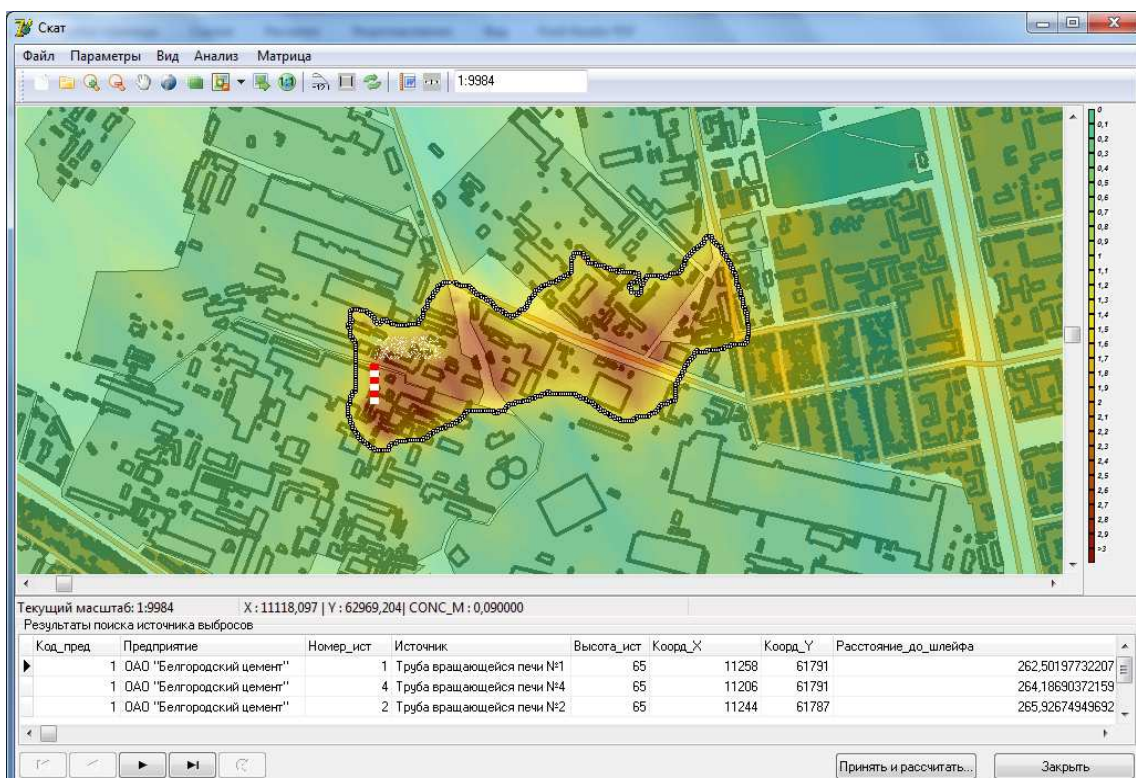


Рис. 3 – Результаты лидарных измерений выбросов PM10 (23.05.2013 г.)

Таблица 4 – Пример результатов расчета и анализа лидарных измерений PM10

Дата и время проведения измерений	23.05.2013 г.; 14:13:10
Расстояние от устья трубы до расчетной точки вдоль оси факела, м	434,6
Номер ИВ (предприятие)	001(ЗАО «Белгородский цемент»)
Фактическая концентрация	1,965 мг/м <sup>3</sup>
Фактический выброс	2,4925 г/с
Норматив для ИВ (ПДВ)	1,71771 г/с
ВЫВОД	Фактический выброс превышает норматив ПДВ в 1,45 раза

Новизной в представленном алгоритме является то, что обеспечивается решение задачи контроля за соблюдением нормативов выбросов PM10 и PM2,5 для высоких ИВ по данным лидарных измерений в факеле промышленного выброса и в приземном слое атмосферы – на основе эталонных концентраций общей пыли на СПЗА.

### 3. Интегральная оценка устойчивости почв к аэротехногенному воздействию в разрезе функционального зонирования промышленно развитого города

Оценка устойчивости почв и почвенного покрова необходима в целях прогнозирования и анализа экологической ситуации, которая непрерывно меняется под влиянием хозяйственной деятельности человека, а также для определения такого уровня техногенной нагрузки, которая не повлияет на эффективность выполнения почвенным покровом его основных экологических функций (Трифенова, 2007). В

воздушный бассейн промышленно развитого города поступают значительные объемы твердых ЗВ в результате производственной деятельности и строительства. Поэтому состав пыли, оседающей на поверхность в разных функциональных зонах города, может во многом определять общие тенденции в трансформации почвенных свойств, и, в первую очередь, гранулометрического состава, гумусированности и реакции почвенного раствора.

Городские почвы, как правило, подвергаются подщелачиванию в результате применения противогололедных реагентов, а также попадания строительной пыли, содержащей повышенное количество карбоната кальция. Содержание карбонатов в почве и уровень рН оказывают влияние на трансформацию соединений тяжелых металлов, т. к. химический состав почвенного раствора, процессы растворения, миграции, осадкообразование карбонатов и характер ионообменных процессов на границе раздела фаз зависят от карбонатно-кальциевого равновесия (Минкина и др, 2010). Наличие в Белгороде 11 крупных предприятий промышленности строительных материалов и строительного комплекса, перспективы его развития в сложившейся практике географического разделения труда обуславливают актуальность проведения оценки воздействия промышленных выбросов карбонатной пыли на городские почвы. На основе анализа базы данных сводного тома ПДВ г. Белгорода и отчетности предприятий по форме 2-ТП (воздух) за последние пять лет автором установлено, что выброс карбонатной пыли в атмосферу города составляет 1401 т/год. Из них около 40% от общего объема выбросов приходится на высокие источники производств строительных материалов. Зона влияния их выбросов составляет 2600-3840 м, что обуславливает формирование участков засоления почв карбонатами кальция не только промышленной зоны, но и других функциональных зон города.

Используя комплексную оценку различий почв по гранулометрии, гумусированности, карбонатности и величине рН, автором выполнена пространственно-распределенная оценка устойчивости почв к аэротехногенному воздействию в разрезе функциональных зон и территорий с учетом требований СанПиН 2.1.7.1287-03. Для территории Белгорода автором создана электронная карта почвенного покрова, для которой была сформирована база данных, включившая 21 почвенный вид: от зональных (черноземы типичные и выщелоченные, темно-серые и серые лесостепные) до азональных и интразональных почв (пойменные луговые, пойменные болотные, черноземы солонцеватые, дерново-намытые почвы). Все почвы в базе данных были дифференцированы по гранулометрическому составу, степени эродированности, мощности гумусового горизонта, степени гумусированности. Это позволило, используя аналитические данные Гипрозема при проведении крупномасштабной почвенной съемки и карты по распределению содержания органического углерода в почвах г. Белгорода, а также стандартные шкалы гранулометрического состава по содержанию физической глины (суммы частиц <0,01 мм) и гумусированности, перевести классификационные характеристики почв в оценочные баллы (от 1 до 9 по сумме частиц <0,01 мм и от 1 до 5 по степени гумусированности). Кроме того, по 9-ти ступенчатой градации величин рН (реакции почвенного раствора) от рН=7 (нейтральная реакция) в меньшую и большую стороны были присвоены баллы в диапазоне варьирования этой величины по территории г. Белгорода от 5,5 до 10. Таким образом, была получена оценка буферности почв,

позволяющая составить представление об устойчивости почв к потенциальному аэротехногенному воздействию загрязнителей на основе комплексного учета гранулометрического состава, гумусированности и реакции почвенного раствора, прямо связанной с карбонатностью почв (рис. 4).

Для получения комплексного показателя, учитывающего влияние выбросов карбонатной пыли на городские почвы, автором применен следующий алгоритм. На основе ГИС анализа рассчитанных среднемесячных приземных концентраций пыли карбонатной по данным базы ПДВ г. Белгорода с использованием расчетного блока «Средние» совместно с УПРЗА «Эколог 3.0», учитывающего розу ветров и режим других определяющих метеорологических параметров изучаемого района, получено распределение выпадений пылевых частиц на подстилающую поверхность города. Интенсивность выпадений рассчитана по формуле РД 52-04-186-89 с учетом определения скорости оседания частиц (0,9 см/с) по формуле Стокса на основе усредненных данных дисперсного состава пылевых выбросов производств строительных материалов (размер частиц менее 10 мкм составляет 69% объема выбросов карбонатной пыли). Далее на основе полученного распределения изолиний интенсивности выпадений карбонатной пыли в интервале 0,01-8,46 кг/м<sup>2</sup> сут. рассчитан понижающий балл по отношению к буферности почвы для каждого диапазона. Затем с использованием программы *ArcGIS* 10.1 методом оверлея пространственных слоев были скорректированы баллы буферности почв и получена интегральная оценка устойчивости почв к аэротехногенному воздействию (рис. 5).

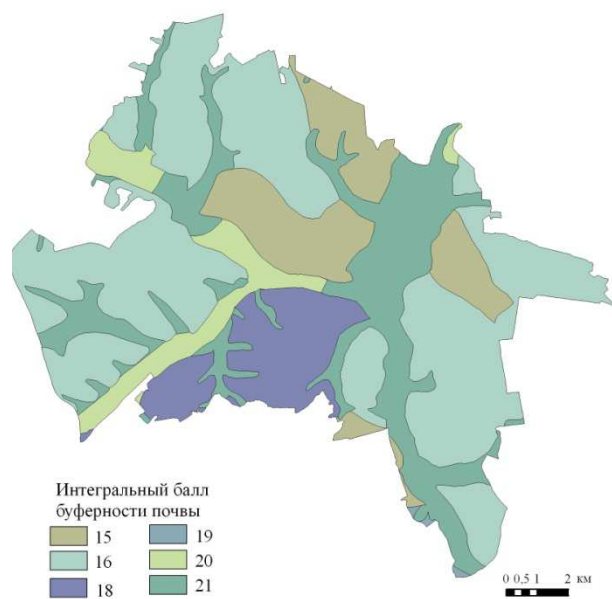


Рис. 4 – Интегральная оценка буферности почв на территории Белгорода

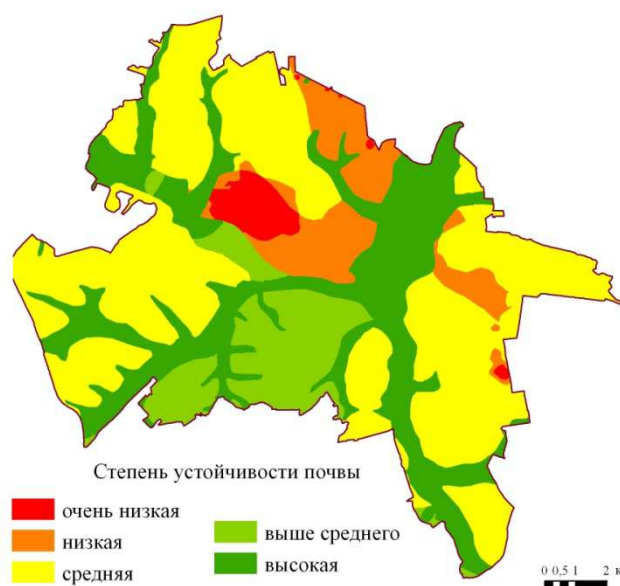


Рис. 5 – Степень устойчивости запечатанных почв на территории Белгорода

Для ранжирования функциональных зон в порядке их приоритетности для оценки устойчивости почв автором использован СанПиН 2.1.7.1287-03, устанавливающий вариативный набор из потенциальных показателей оценки санитарного состояния почв для шести типов функциональных зон. Исходя из количества обязательных показателей качества почв, каждой функциональной зоне был присвоен ранг, отражающий ее приоритет для почвенно-экологического мониторинга в условиях городской среды в порядке убывания, и в *ArcGIS* выполнено распределение площадей

почв разной степени устойчивости к аэротехногенному воздействию по функциональным зонам г. Белгорода (рис. 6).

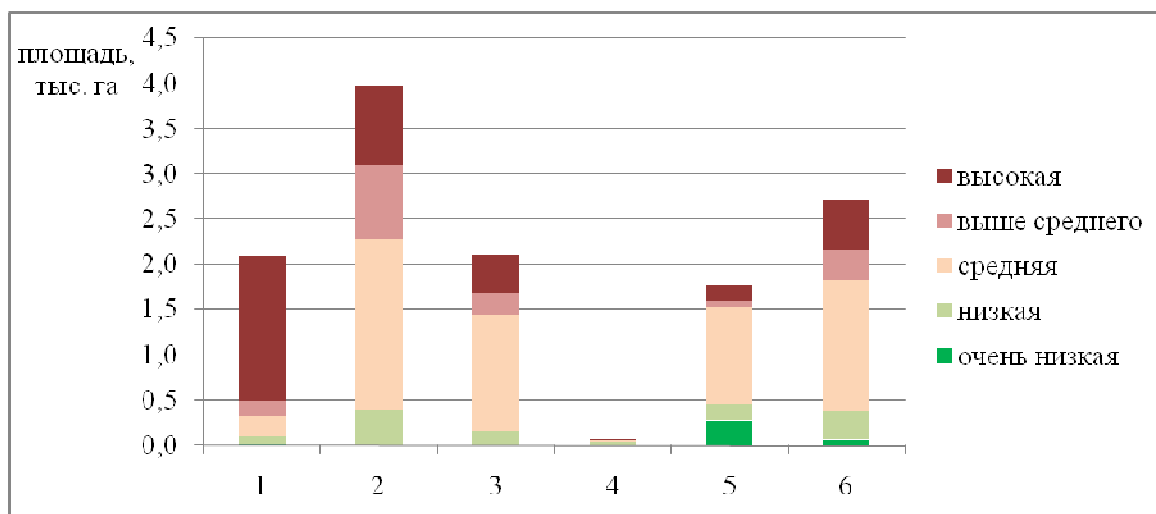


Рис. 6 – Распределение площадей почв разной степени устойчивости к аэротехногенному воздействию по функциональным зонам г. Белгорода: 1 – водоохранная зона; 2 – жилая зона; 3 – рекреационная зона; 4 – земли с.-х. назначения; 5 – промышленная зона; 6 – транспортные магистрали

В результате автором получена оценка потенциальной устойчивости незапечатанных городских почв Белгорода к аэротехногенному воздействию в разрезе функциональных зон. Она показала, что помимо водоохранной зоны, почвы которой на преобладающей площади (76,8%) обладают высокой устойчивостью к аэротехногенным загрязнениям, при крайне неравномерном распределении источников загрязнения атмосферы (89% сосредоточено в Западной и Восточной промышленных зонах), на остальных пяти функциональных зонах, определяемых СанПиН 2.1.7.1287-03, доминирующие площади занимают ареалы почв с невысокой степенью устойчивости: низкой (12,7%) и средней (48,3%). На этих территориях представлены почвы легкого гранулометрического состава, малогумусные и имеющие природную или антропогенно обусловленную слабую или умеренную щелочность ( $pH = 8-9$ ). Наибольшей устойчивостью к воздействию аэротехногенных выбросов карбонатной пыли отличаются почвы водоохранной зоны, а самые уязвимые почвы расположены на землях сельскохозяйственного назначения, в промышленной, рекреационной зонах и вблизи транспортной инфраструктуры. Промежуточное положение занимают почвы, расположенные в жилой зоне.

Дальнейшее развитие специализации Белгородской области в производстве строительных материалов на собственной ресурсной базе приведет к усилению влияния аэротехногенного воздействия выбросов карбонатной пыли на территориях г. Белгорода с низкой устойчивостью почв. С учетом фактически достигнутых величин ( $pH=8-9$ ) в верхнем слое почв с низкой устойчивостью при увеличении аэротехногенной нагрузки прогнозируется превышение указанных величин  $pH$ , что может привести к уменьшению подвижности в почве важных для питания растений микроэлементов, и впоследствии – к ухудшению состояния парков Центрального планировочного района города. Поэтому перспективное развитие производств строительных материалов в г. Белгороде целесообразно обуславливать ограничением выбросов твердых ЗВ в атмосферу от производств строительных материалов на

основе установления полей квот приземных концентраций ЗВ для части территории рекреационных зон с низкой степенью устойчивости к воздействию аэротехногенных выбросов карбонатной пыли.

Таким образом, на основе оценки потенциальной устойчивости почв к аэротехногенному воздействию представляется возможным анализировать экологическое состояние функциональных зон промышленно развитого города и разработать предложения по регулированию объемов аэротехногенных выбросов на перспективу.

#### **4. Геоинформационная аналитическая система урбэкологического назначения, включающая функциональные блоки, базы данных и систему управления ими, как информационный и аналитический ресурс для поддержки принятия решений по регулированию качества воздушного бассейна промышленно развитого города.**

Современные масштабы и темпы изменения городской среды в условиях преимущественного аэротехногенного воздействия настолько велики, что охватить их наземными мониторинговыми исследованиями на большой площади крупного промышленного центра в единый момент времени не представляется возможным. Поэтому одной из первостепенных задач, решаемых при регулировании качества воздушного бассейна промышленно развитого города, является комплексная оценка аэротехногенного воздействия для выявления территорий, где нарушаются гигиенические и экологические нормативы качества городской среды, и последующая разработка предложений по нормализации их состояния. Для решения указанной проблемы при участии автора разработана геоинформационная аналитическая система (ГИАС) «Эко-город» (Лисецкий, Чепелев, Боровлев и др., 2010).

Для ГИАС «Эко-город» автором разработаны структура и механизмы функционирования основных элементов. Схема регулирования качества воздушного бассейна на основе ГИАС «Эко-город» состоит из 4-х основных элементов: трех блоков (информационно-аналитического, расчетно-аналитического, проектно-планировочного) и геопортала (рис. 7).

Информационно-аналитический блок осуществляет сбор и первичный анализ данных мониторинговой сети (анализ содержания ЗВ в атмосферном воздухе и почве), метеопараметров, баз данных ИВ для нормирования выбросов ЗВ и прогнозной оценки качества воздушного бассейна, в т. ч. текущего состояния, результатов контроля за соблюдением установленных нормативов ПДВ, сведений об экологически обусловленных заболеваниях населения, с последующей ГИС-визуализацией их результатов. Для г. Белгорода, помимо данных 4-х постов мониторинговой сети Росгидромета, в ГИАС включены результаты лидарных измерений распределения взвешенных частиц в атмосфере и контроля выбросов от высоких источников ЗАО «Белгородский цемент», проводимых Центром коллективного пользования в НИУ «БелГУ». Оперативность информационного обмена в ГИАС обеспечивается поступлением результатов экологического мониторинга и контроля непосредственно с автоматизированных средств измерений, а также через пользовательский Web-интерфейс на основе механизмов автоматической конвертации из баз данных поставщиков ГИАС.

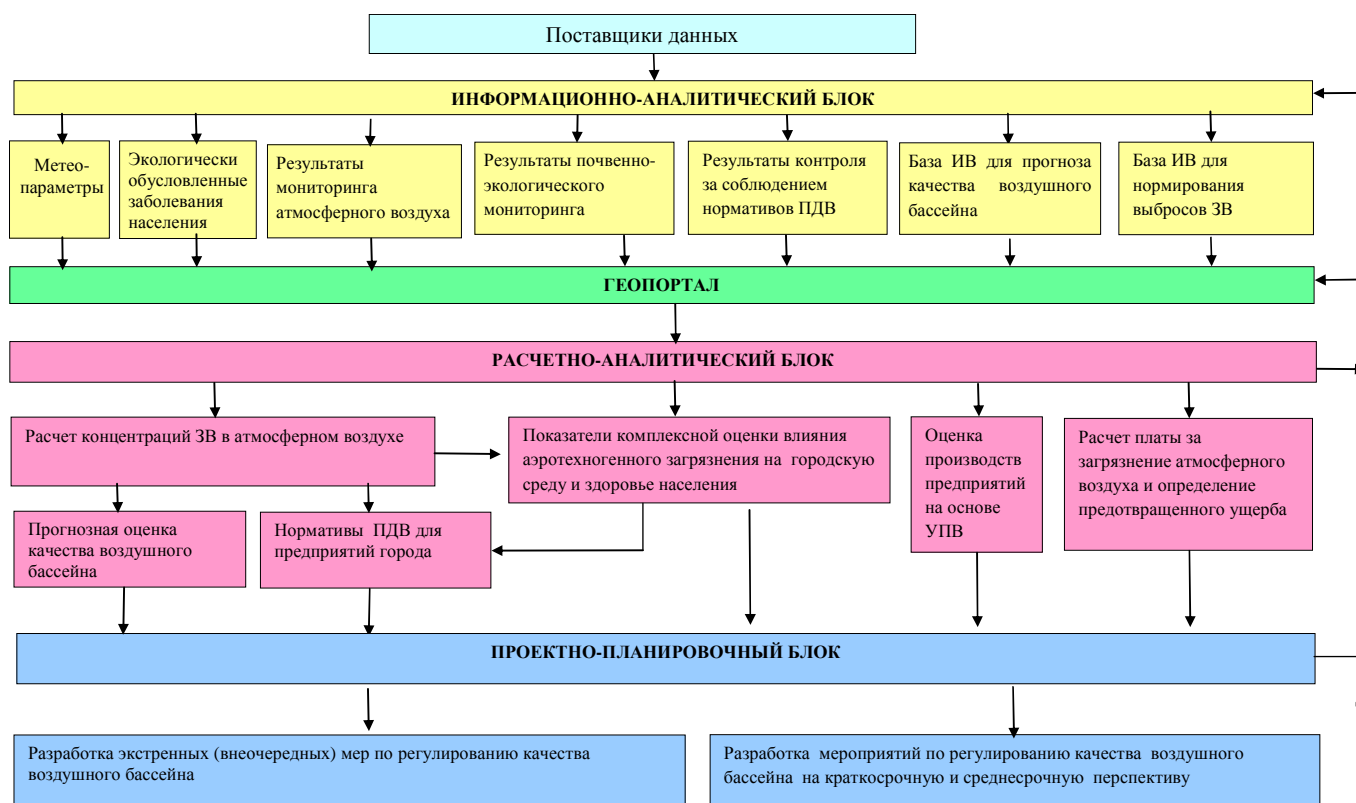


Рис. 7 – Схема регулирования качества воздушного бассейна города на основе ГИАС «Эко-город»

Разработанные механизмы автоматического пополнения данных достаточно гибкие и позволяют без значительных трудозатрат расширять перечень опрашиваемых системой автоматических средств мониторинга (можно использовать любой имеющийся способ подключения к сети Интернет, в том числе сети сотовой связи). В качестве поставщиков данных для прогнозной оценки качества воздушного бассейна исследований определены 10 предприятий, вносящих основной вклад в уровень загрязнения атмосферы г. Белгорода.

Центральной подсистемой является расчетно-аналитический блок в котором решаются следующие задачи:

- выявление зон с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха и причин, вызывающих их формирование;
- оценка загрязнения воздушного бассейна взвешенными частицами PM10 и PM2,5;
- разработка нормативов ПДВ для предприятий на основе гигиенических и экологических нормативов качества атмосферного воздуха, а также учета комплексных показателей оценки влияния аэротехногенного загрязнения на городскую среду и здоровье населения;
- оценка «экологичности» производств – основных источников загрязнения атмосферы на основе удельных показателей выбросов (УПВ), соответствующих наилучшим доступным технологиям (НДТ);
- расчет платы за загрязнение атмосферного воздуха и определение предотвращенного ущерба.

Используя базу параметров ИВ предприятий, в расчетно-аналитическом блоке выполняются расчеты загрязнения атмосферы, определяется вклад различных

предприятий в загрязнение воздушного бассейна и уточняются их нормативы выбросов в атмосферу, оцениваются ожидаемые изменения уровня загрязнения атмосферного воздуха с учетом динамики выбросов предприятий и автотранспорта, проводится оценка эффективности планируемых природоохранных мероприятий.

Помимо нормативов выбросов, с детализацией до отдельно взятого источника и картограмм приземных концентраций приоритетных ЗВ, расчетно-аналитический блок включает следующие комплексные показатели оценки влияния аэротехногенного загрязнения на городскую среду и здоровье населения: ИЗА, рассчитываемый по фактическим данным мониторинга атмосферного воздуха, оценка риска здоровью населения (канцерогенный и неканцерогенный риск), оценка экологического состояния городских почв (содержание тяжелых металлов на основе приведенного суммарного коэффициента концентрации (D), степень устойчивости почв к аэротехногенному воздействию).

Серверное приложение ГИАС реализует функции импорта данных из УПРЗА и других специализированных программ, расчета комплексных показателей оценки влияния аэротехногенного загрязнения на городскую среду и здоровье населения, автоматизированного построения графиков, вывода итоговой статистики по заданному пользователем периоду времени и критериям отбора данных. Указанные данные доступны пользователям системы в виде справочников и связаны с объектами электронной карты города, что обеспечивает возможность быстрого поиска необходимого объекта по атрибутивным и пространственным запросам. Взаимодействие пользователей с ГИАС «Эко-город» происходит через Web-приложение геопортала системы, имеющее функции графического интерфейса пользователя и геоинформационной системы (рис. 8).

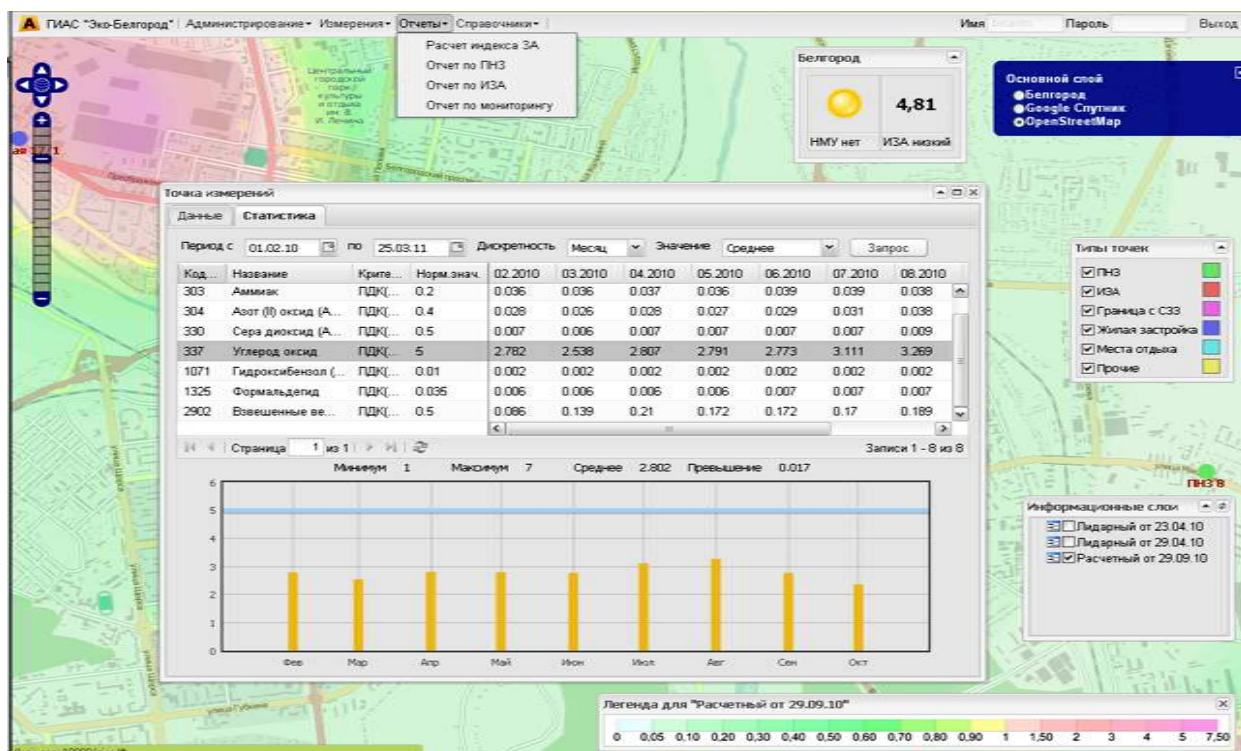


Рис. 8 – Главное окно геопортала ГИАС «Эко-город»

В части решаемых ГИАС задач следует отметить актуальность прогнозной оценки загрязнения воздушного бассейна взвешенными частицами PM10 и PM2,5, так как

согласно данным Всемирной организации здравоохранения имеется тесная количественная взаимосвязь между воздействием как ежедневным, так и накопленным с течением времени, высоких уровней концентраций PM10 и PM2,5 и повышенными смертностью и заболеваемостью населения. И наоборот, при уменьшении уровней концентраций PM10 и PM2,5 снижается также связанная с ними смертность при условии, что остальные факторы остаются прежними. Это позволяет лицам, определяющим стратегию социально-экономического развития территории, планировать снижение уровня заболеваемости населения, которое можно ожидать при сокращении выбросов частиц PM10 и PM2,5 в атмосферный воздух.

Проектно-планировочный блок ориентирован на разработку экстренных (внеочередных) мер по регулированию качества воздушного бассейна, а также мероприятий на краткосрочную и среднесрочную перспективу, включая проведение научных исследований.

На базе системы ГИАС «Эко-город» организация взаимодействия ее пользователей – территориальных органов, осуществляющих государственный экологический мониторинг и контроль, нормирование воздействия, а также региональных и муниципальными органами исполнительной власти, позволяет более оперативно решать вопросы разработки, согласования и утверждения проектов и разработок, важных для охраны атмосферного воздуха города (сводный том ПДВ, проекты СЗЗ для промышленных зон).

Реализация ГИАС с представленной структурой способна стать комплексной системой, наиболее полно характеризующей загрязнение атмосферного воздуха и территории промышленно развитого города, позволяющей повысить оперативность принятия решений по регулированию качества воздушного бассейна и результативность внедряемых природоохранных мероприятий.

## ВЫВОДЫ

1. В результате анализа динамики и структуры загрязнения воздушного бассейна г. Белгорода по данным статистической отчетности за период 2010-2014 гг. установлено, что наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносит автотранспорт (85,3%) и 56 промышленных объектов, в том числе производства строительных материалов (ЗАО «Белгородский цемент, ОАО «Стройматериалы»), предприятия теплоэнергетики (ПО «Белгородская ТЭЦ», Газотурбинная ТЭЦ), машиностроения и металлообработки (ЗАО «Энергомаш (Белгород)») и др. Основной вклад в загрязнение воздушного бассейна газообразными и жидкими ЗВ вносит автотранспорт (89,8%), твердыми веществами – производство строительных материалов (70,0%). В результате выполнения сводных расчетов загрязнения воздушного бассейна г. Белгорода выбросами промышленности и автотранспорта определено, что по максимальным разовым концентрациям ведущими загрязнителями атмосферного воздуха являются азота диоксид, бенз(а)пирен, свинец, углерода оксид (вклад автотранспорта – 78,4-99,7%) и пыль неорганическая, содержащая SiO<sub>2</sub> 70-20% (вклад ЗАО «Белгородский цемент» – 96,7%). На перспективу нормативы ПДК<sub>М.Р.</sub> в жилой и охранной зонах города будут обеспечены по азота диоксиду, бенз(а)пирену, свинцу и углерода оксиду в результате внедрения

стандартов Евро-4 и Евро-5, по пыли неорганической с содержанием  $\text{SiO}_2$  70-20% – модернизации газоочистных установок на ЗАО «Белгородский цемент». Дальнейшее увеличение количества автотранспортных средств при недостаточной эффективности мероприятий по перераспределению транспортных потоков и снижению выбросов автотранспорта будет способствовать ухудшению качества атмосферного воздуха в городе.

2. Установлены 23 приоритетных ЗВ для проведения прогнозной оценки качества воздушного бассейна. Из них 12 относятся к газообразным ЗВ (азота диоксид, азота оксид, аммиак, водород хлорид, ксилол, серная кислота, серы диоксид, сольвент, углерода оксид, углеводороды (бензин нефтяной), фенол, формальдегид) и 11 – к твердым ЗВ (бенз(а)пирен, кальций дигидрооксид, кальция карбонат, кальций оксид, пыль абразивная, пыль металлическая, пыль неорганическая: < 20%  $\text{SiO}_2$ , пыль неорганическая:  $\text{SiO}_2$  70-20%, пыль неорганическая: > 70%  $\text{SiO}_2$ , свинец, сажа). Указанные твердые ЗВ в значительном количестве выпадают на подстилающую поверхность урбоэкосистем. В дальнейшем рекомендовано нормирование их выбросов проводить с учетом дисперсного и химического состава, а также оценки воздействия на городские почвы, что обеспечит ужесточение нормативов выбросов ЗВ в атмосферу.

3. На основе разработанного алгоритма оценки загрязнения воздушного бассейна промышленно развитого города частицами  $\text{PM}_{10}$  и  $\text{PM}_{2,5}$  выявлена зона с превышениями до 2,8 ПДК<sub>М.Р.</sub> взвешенных частиц в жилой застройке Центрального планировочного района площадью 73,5 га и определен перечень источников выбросов ЗАО «Белгородский цемент», вносящих основной вклад в уровень загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами. Установлено доминирующее влияние на загрязнение атмосферного воздуха в жилой застройке города выбросов мелкодисперсных частиц от высоких источников производств строительных материалов, что обуславливает актуальность организации дополнительных мер по контролю величин их выбросов с использованием технологий дистанционного зондирования атмосферы.

4. Показана возможность проведения контроля выбросов в атмосферу частиц  $\text{PM}_{10}$  и  $\text{PM}_{2,5}$  на основе лидарных измерений и данных стационарных наблюдений с использованием расчетных (эталонных) концентраций взвешенных веществ.

5. Выполнена оценка потенциальной устойчивости незапечатанных городских почв к аэротехногенному воздействию в разрезе функциональных зон промышленно развитого города. Установлено, что наибольшей устойчивостью к воздействию аэротехногенных выбросов обладают почвы водоохранной зоны, наиболее уязвимы почвы, которые расположены на землях сельскохозяйственного назначения, в промышленной и рекреационной зонах, а также вблизи транспортной инфраструктуры. На основе выполненной оценки потенциальной устойчивости незапечатанных городских почв к аэротехногенному воздействию создана методическая основа для установления ПДВ карбонатной пыли с учетом перспективного развития производств строительных материалов.

6. Предложен новый методический подход к разработке тематической геоинформационной аналитической системы (ГИАС) для регулирования качества воздушного бассейна промышленно развитого города, которая способна обеспечить

ужесточение нормативов аэротехногенных выбросов ЗВ. Созданная ГИАС позволяет интегрировать сведения экологического характера (включая данные экологического мониторинга и контроля), проводить их статистический анализ, визуализировать в виде картограмм и графиков и распределять полученные результаты посредством специализированного Web-ГИС на геопортале, проводить работы по нормированию аэротехногенного воздействия и прогнозной оценке качества воздушного бассейна, обеспечить оперативность принятия решений по регулированию объемов аэротехногенных выбросов. Апробация для г. Белгорода показала ее результативность для геоэкологической оценки влияния аэротехногенных выбросов на состояние воздушного бассейна и территории города, оценки вкладов источников выбросов предприятий и автотранспорта в уровень загрязнения атмосферного воздуха с учетом планируемых природоохранных мероприятий, а также эффективность применения при определении приоритетных действий, направленных на улучшение экологической обстановки.

### **По материалам диссертации опубликованы следующие работы:**

1. Боровлев, А.Э. Исследование техногенного воздействия промышленных предприятий и автотранспорта с целью обеспечения экологических норм загрязнения атмосферного воздуха урбанизированной территории (на примере города Белгорода) / А.Э. Боровлев // Проблемы региональной экологии. – 2007. – № 6. – С. 24-28.\*
2. Боровлев, А.Э. Развитие системы управления качеством атмосферного воздуха на основе лидарных измерений / А.Э. Боровлев, С.А. Кунгурцев // Экологические системы и приборы. – 2007. – № 7. – С. 8-13.\*
3. Боровлев, А.Э. Лидарный аппаратно-программный комплекс как элемент геоинформационной аналитической системы г. Белгорода / А.Э. Боровлев, С.А. Кунгурцев // Экологические системы и приборы. – 2008. – № 11. – С. 56-59.\*
4. Лисецкий, Ф.Н. Мониторинг техногенного воздействия в действующих и вновь создаваемых промышленных районах Белгородской области / Ф.Н. Лисецкий, А.Э. Боровлев, Э.А. Терехин, О.М. Ломиворотова // Экологические системы и приборы. – 2011. – № 7. – С. 30-35.\*
5. Чепелев, О.А. Опыт создания специализированной геоинформационной системы для решения задач обработки данных экологического мониторинга на муниципальном уровне / О.А. Чепелев, А.Э. Боровлев // Экологические системы и приборы. – 2011. – № 9. – С. 52-56.\*
6. Боровлев, А.Э. Загрязнение атмосферного воздуха города Белгорода частицами пыли малых размеров / А.Э. Боровлев, С.А. Кунгурцев, В.И. Соловьев, Л.В. Мигаль // Ученые записки. Эл. журнал Курского гос. ун-та. – 2013. – № 1 (25). – С. 269-272. – Режим доступа: <http://www.scientific-notes.ru/pdf/029-039.pdf>.\*
7. Боровлев, А.Э. Классификация пыли, измеряемой на стационарных постах Росгидромета, при проведении работ по нормированию вредных выбросов в атмосферу (на примере города Белгорода) / А.Э. Боровлев, С.А. Кунгурцев, С.Н. Мамин // Ученые записки. Эл. журнал Курского го. ун-та. – 2013. – № 1 (25). – С. 273-276. – Режим доступа: <http://www.scientific-notes.ru/pdf/029-040.pdf>. \*

8. Боровлев, А.Э. Решение практических задач нормирования выбросов взвешенных частиц в атмосферный воздух города Белгорода с использованием данных лидарных измерений / А.Э. Боровлев, С.А. Кунгурцев, В.И. Соловьев, Л.В. Мигаль // Экологические системы и приборы. – 2013. – № 6. – С. 16-21.\*

9. Боровлев, А.Э. Применение лидарных измерений для организации контроля за соблюдением нормативов выбросов мелкодисперсных взвешенных частиц в атмосферный воздух города Белгорода / А.Э. Боровлев, С.А. Кунгурцев, В.И. Соловьев, Л.В. Мигаль // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. – 2013. – Вып. 23, № 10 (153). – С. 145-149.\*

10. Боровлев, А.Э. Развитие системы управления качеством атмосферного воздуха для города Белгорода / А.Э. Боровлев, Ф.Н. Лисецкий, О.А. Чепелев // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6, Ч. 4. – С. 922-929.\*

11. Боровлев, А.Э. Оценка устойчивости городских почв к аэротехногенному воздействию (на примере города Белгорода) / А.Э. Боровлев // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. – 2016. – Вып. 34, № 4 (225). – С. 148-155.\*

12. Боровлев, А.Э. Загрязнение воздушного бассейна Белгородской области выбросами предприятий горно-металлургического комплекса / А.Э. Боровлев // Вестник БГТУ. – 2004. – № 8, Ч. IV. – С. 20-23.

13. Боровлев, А.Э. Разработка метода оперативного контроля источников выбросов цементного производства / А.Э. Боровлев, С.А. Кунгурцев, В.И. Соловьев, Г.В. Ворошилов // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: Мат. III межд. науч. конф. – М.; Белгород: ИПЦ «ПОЛИТЕРРА», 2008. – Ч. 3. – С. 14-16.

14. Боровлев, А.Э. Исследование загрязнения атмосферного воздуха урбанизированной территории на основе лидарного мониторинга, математических методов моделирования и ГИС / А.Э. Боровлев, С.А. Кунгурцев, В.И. Соловьев // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: Мат. IV межд. науч. конф. – М.; Белгород: КОНСТАНТА, 2010. – С. 439-444.

\*Статьи, опубликованные в изданиях, включенных в перечень ВАК России.

Получены следующие охранные документы на объекты интеллектуальной собственности:

1. База данных сводного тома предельно допустимых выбросов предприятий г. Белгорода / Боровлев А.Э., Соловьев В.И., Кургурцев Е.С. и др. Свидетельство о гос. рег. базы данных № 2008620112. Зарегистрировано в Реестре баз данных 29.02.2008 г.

2. Геоинформационная аналитическая система / Лисецкий Ф.Н., Чепелев О.А., Боровлев А.Э. и др. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010617768. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 23.11.2010 г.

3. База данных геоинформационной аналитической системы «Эко-город» / Лисецкий Ф.Н., Чепелев О.А., Боровлев А.Э. и др. Свидетельство о гос. рег. базы данных № 201160206. Зарегистрировано в Реестре баз данных 17.03.2011 г.

4. Программа для ЭВМ по определению дисперсного состава пылегазовых выбросов предприятий промышленного центра на основе представления результатов лидарных измерений взвешенных частиц PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> / Кунгурцев С.А., Соловьев В.И., Боровлев А.Э. Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ № 2013617662. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 21.08.2013 г.

