

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(Н И У « Б е л Г У »)

ФАКУЛЬТЕТ ГОРНОГО ДЕЛА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Кафедра географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности

**ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ
В Г. БЕЛГОРОДЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ АВТОТРАНСПОРТА**

Выпускная квалификационная работа
обучающегося по направлению подготовки 05.04.02 География
очной формы обучения, группы 81001612
Полетаева Арсения Олеговича

Научный руководитель
д.г.н., профессор
Корнилов А.Г.

Рецензент
начальник Белгородского
ЦГМС-филиала ФГБУ
«Центрально-Черноземное УГМС»
Решетникова Л.К.

БЕЛГОРОД 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА.....	6
1.1. Зарубежный опыт организации контроля качества атмосферного воздуха	6
1.2. Организация контроля качества атмосферного воздуха в Российской Федерации.....	10
1.3. Международные соглашения, связанные с качеством атмосферного воздуха	13
2. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ИЗУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА.....	17
2.1. Показатели качества атмосферного воздуха.....	17
2.2. Математические модели распространения примесей в атмосфере	18
2.3. Зарубежный опыт изучения загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха	21
2.4. Российский опыт изучения загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха	26
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В Г. БЕЛГОРОДЕ	39
3.1. Методика проведения исследований	39
3.2. Анализ полученных данных	44
3.2.1. Ключевой участок в северной части города (№1)	46
3.2.2. Ключевой участок в центральной части города (№2)	73
3.2.3. Ключевой участок в южной части города (№3).....	78
3.3. Обсуждение результатов и выводы по третьей главе.....	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	87
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	89
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	95

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Современный научно-технический прогресс, экономический рост как в развитых, так и развивающихся государствах являются причиной повышенной антропогенной нагрузки на окружающую среду. Экологическое состояние атмосферного воздуха, который подвергается загрязнению выбросами промышленных предприятий и автотранспорта, в настоящее время вызывает особый интерес со стороны органов государственной власти, общественности и ученых. Это связано с тем, что загрязненный атмосферный воздух становится причиной множества заболеваний и приводит к преждевременной смерти. Так, согласно новому исследованию ученых более 5,5 миллиона людей преждевременно умирают каждый год от загрязнения воздуха. Более половины смертей случается в двух самых растущих экономиках мира: Индии и Китае [18]. Для улучшения качества жизни населения проводятся мероприятия, направленные против загрязнения воздуха – использование более чистых видов топлива, более эффективных автомобилей, ограничение использования угля и наложение ограничений на электростанции и заводы. Такие меры в течение последних пятидесяти лет были наиболее распространены в Северной Америке, Западной Европе и Японии [18]. Но, помимо непосредственной борьбы с загрязнением атмосферного воздуха, требуется расширение научной базы знаний, связанной с организацией наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха, его моделированием и прогнозированием в различных пространственных и временных масштабах. Это необходимо для разработки и принятия эффективных решений, направленных на улучшение экологического состояния атмосферного воздуха.

Степень разработанности проблемы. Исследования по оценке экологической ситуации в части атмосферного воздуха широко проводятся зарубежными учеными, вместе с тем единой общепринятой методики пока еще не предложено, что определяет актуальность диссертационного исследования.

Цель исследования – выявить закономерности загрязнения приземного слоя атмосферы в г. Белгороде под влиянием автотранспорта.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

1. Обзор ряда литературных источников по теме исследования.
2. Разработка программы проведения наблюдений за загрязнением приземного слоя атмосферного воздуха в г. Белгороде, выделение ключевых участков и пунктов наблюдений.
3. Проведение серии наблюдений на каждом из ключевых участков, систематизация полученных значений концентраций загрязняющих веществ.
4. Проведение анализа совокупности значений, полученных в ходе предыдущей задачи, выявление особенностей загрязнения приземного слоя атмосферы на каждом из ключевых участков под влиянием автотранспорта.
5. Обобщение полученных сведений, подведение итогов.

Объектом исследования в выпускной квалификационной работе является загрязнение атмосферного воздуха.

Предметом исследования является пространственная динамика загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха в г. Белгороде, его изменение в течение периода наблюдений на различных типах территорий города.

Материалами исследования послужили данные, полученные автором в ходе полевых наблюдений.

Методы исследования. В данной выпускной квалификационной работе были использованы следующие методы исследования: статистический, сравнительно-географический, метод полевых исследований и наблюдений.

Научная новизна и практическая значимость. На основе анализа данных, полученных в ходе наблюдений, создана информационная база экологического состояния атмосферного воздуха в г. Белгороде, выявлены закономерности и предложен методический подход оценки уровня загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха.

Основные защищаемые положения: 1) Критический анализ существующих методических подходов к оценке экологической ситуации в части атмосферного воздуха на территории крупных населенных пунктов. 2) Оценка экологической ситуации на территории г. Белгорода. 3) Закономерности формирования экологической ситуации в части атмосферного воздуха.

Этапы исследования и краткое содержание глав. Результаты теоретического этапа исследования представлены в первой главе, которая посвящена организации контроля качества атмосферного воздуха. Результаты методического этапа изложены во второй главе, где рассмотрены методы контроля качества атмосферного воздуха и опыт изучения загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха. Результаты практического этапа исследования содержатся в третьей главе, в которой описана методика проведения наблюдений, изложен анализ полученных данных и обсуждение результатов.

Апробация работы. По теме диссертационного исследования была опубликована статья «Проблемы оценки экологического состояния воздуха» в журнале «Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки» (Полетаев А.О., Корнилов А.Г. Проблемы оценки экологического состояния воздуха // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. – 2017. – Т. 38. – № 4 (253). – С. 126-132.), и принята к печати редакцией журнала «Вестник УдГУ. Серия Биология. Науки о Земле» статья «Динамика загрязнения атмосферного воздуха в жилых зонах городских территорий на примере г. Белгорода».

Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

1. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

1.1. Зарубежный опыт организации контроля качества атмосферного воздуха

Атмосферный воздух является одним из факторов влияния на здоровье населения, и улучшение его качества позволяет предупредить дополнительные случаи смерти и заболевания населения из-за негативного воздействия среды обитания. В связи с этим является необходимым контроль качества атмосферного воздуха, организация которого происходит как на уровне отдельно взятой страны, группы стран, так и на международном уровне. Ниже приведен краткий обзор опыта организации контроля качества атмосферного воздуха в некоторых странах.

В Китае ситуация с загрязнением воздуха является серьезной и широко распространенной. Это означает, что любая эффективная стратегия контроля должна ориентироваться на все основные загрязняющие вещества из разных источников, а меры контроля должны быть совместно разработаны и разумно объединены.

Основная система контроля за загрязнением воздуха была установлена в Законе о предотвращении и борьбе с загрязнением атмосферы, опубликованном в 1987 году. Согласно этому закону местные органы власти отвечают за контроль за загрязнением воздуха в пределах своей юрисдикции. Также контролируется концентрация загрязнителей на точечных источниках, особенно крупных промышленных установок сжигания угля, взимается плата за загрязнение и применяются штрафы. В последнее время происходят изменения в управлении качеством воздуха в Китае, являющиеся «верхушкой айсберга» продолжающегося глубокого сдвига режима, включая реформы управления окружающей средой и моделей социально-экономического развития. На основе того, что происходит, формируются тенденции на макроуровне [46]:

1. Самая сильная и продолжительная политическая воля: возможно, наиболее явным изменением в борьбе с загрязнением воздуха является то, что она стала одним из главных приоритетов во всех усилиях, связанных со строительством «Экологической цивилизации», и, вероятно, останется такой. Эта государственная идеология является «чрезвычайно важной и неотложной миссией», как недавно подтвердила центральная власть. Центральное руководство также устанавливает курс на улучшение качества окружающей среды, в том числе и качества воздуха, исключая их ухудшение [48].

2. Участие общественности и роль гражданского общества возрастают: «Окружающая среда в Китае сильно ухудшилась» уже стала необратимым общественным консенсусом. Наряду с повышением доходов и повышением уровня жизни люди требуют лучшего качества окружающей среды. Окружающие права правозащитные действия, после десятка лет небольшого, но неустанного преследования, получили прорыв в последнее время. В новом законодательстве гарантируется квалификация в области судебных издержек в отношении гражданских прав, что также повышает общественные ожидания в отношении соблюдения экологических прав.

3. Постоянно растущий спрос на «количественную оценку»: регулярные научные количественные возможности, такие как мониторинг, атмосферное моделирование, распределение источников, оценки риска для здоровья, давно изучены и разработаны китайскими исследователями, а в большинстве случаев они не использовались за пределами академических кругов. В настоящее время растет спрос на создание единых возможностей количественной оценки и общедоступных информационных платформ.

4. Стратегия «Top Design» (Ding Ceng She Ji), объединяющая окружающую среду, климат, энергетику и региональное развитие: контроль за загрязнением воздуха используется как прорыв в реформе охраны окружающей среды, которая, в свою очередь, используется центральной властью как ведущий фактор для изменения экономики и социального развития. Для

личных интересов Китая [49, 54] предпринимаются немедленные действия, такие как ограничение добычи угля.

Управление качеством воздуха (Air Quality Management, AQM) в США осуществляется на местном, региональном и глобальном уровнях. Эти примеры представляют собой:

- 1) программу опасных загрязнителей воздуха (HAPs);
- 2) национальную программу качества атмосферного воздуха (NAAQS);
- 3) программы «Cap and Trade»;
- 4) глобальные усилия по контролю загрязнения.

Программа опасных загрязнителей воздуха (HAPs) подразумевает собой контроль над выбросами 189 соединений, определенных как опасных, отходящих от стационарных источников. Национальные стандарты качества окружающего воздуха (NAAQS) применяются для контроля широко распространенных загрязнителей из многочисленных и разнообразных источников, которые считаются вредными для общественного здоровья и окружающей среды. Первичные стандарты устанавливают ограничения для охраны здоровья населения, включая здоровье «чувствительных» групп населения, таких как астматики, дети и пожилые люди. Вторичные стандарты устанавливают ограничения для защиты общественного благосостояния, включая защиту от нарушения видимости, а также от ущерба животным, культурам, растительности и зданиям.

Выбросы мобильных источников контролируются на национальном и государственном уровнях с использованием трех типов стратегий AQM:

- 1) программы сертификации новых источников, которые определяют нормы выбросов, применимые к новым автомобилям и моторам;
- 2) используемые технологические меры и средства контроля, включая спецификации на свойства топлива; программы технического осмотра и технического обслуживания транспортных средств; и модернизации существующих транспортных средств;

3) нетехнологические меры для контроля использования или деятельности (например, через управление транспортом) [36].

Программа NAAQS была одной из самых успешных и привела к значительному улучшению качества воздуха.

Программы «Cap and Trade», первоначально разработанные для проблемы кислотных дождей и в последнее время распространяющиеся на другие проблемы трансграничного загрязнения воздуха, имеют общие характеристики. В рамках этих программ сначала устанавливаются ограничения или максимальные ограничения на выбросы. Источники, охватываемые программой, затем получают разрешения на выброс загрязняющих веществ.

Глобальная программа фокусируется на разработке международных договоров, приемлемых для Соединенных Штатов. Соединенные Штаты работают над укреплением международных действий и расширением участия под эгидой Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата.

Американская компания AQM подвергается критике за излишнюю сложность и соблюдение административных требований, а не за сокращение загрязнения - по сути, тратит слишком много времени и ресурсов на судебные разбирательства, вместо того, чтобы вкладывать деньги в решения [42]. Однако в последние десятилетия был достигнут значительный прогресс в борьбе с загрязнением воздуха. Несмотря на существенный прогресс в улучшении качества воздуха, проблемы, связанные с выбросами загрязняющих веществ в Соединенных Штатах, отнюдь не решены, и, скорее всего целью является успешная AQM. Будущие экономические и демографические расширения и сопутствующие повышенные потребности, например, для электричества и транспорта, увеличат потенциал для выбросов и для поддержания текущего качества воздуха потребуются дополнительные усилия.

Контроль качества воздуха в странах Европейского союза. Данные по всем станциям и загрязняющим веществам регистрируются в AirBase, системе базы данных по качеству атмосферного воздуха Европейского агентства по

окружающей среде (ЕЕА), основанной на информации непрерывного мониторинга качества воздуха, собранной в соответствии с решением об обмене информацией 97/101 / ЕС [43]. В AirBase станции классифицируются по разным типам: сельские фоновые станции, городские фоновые станции, станции трафика и другие станции. Для каждой из станций диаграммы расстояния до цели сравнивают местное качество воздуха со стандартом ЕС. AirBase обеспечивает обзор качества воздуха, в то время как государства ЕС должны постоянно контролировать и публиковать данные о качестве воздуха. Эта задача обычно используется на местном уровне. С учетом этого законодательства стандарты, целевые показатели и эталонные методы одинаково применяются в каждом из государств ЕС.

Директива ЕС 2003/4 / ЕС «Доступ к экологической информации 2003 года» [40] означает, что каждый гражданин должен иметь достаточный доступ к экологической информации и что государственные органы должны приложить усилия для информирования граждан об окружающей среде. Таким образом, общественная информация о загрязнении воздуха является обязательством согласно Директиве по качеству воздуха. Требования содержат минимальный объем информации, которая должна быть предоставлена общественности в отношении оценки концентраций загрязняющих веществ. Он также требует наличия у общественности планов и программ борьбы с загрязнением. Поэтапная реализация Соглашения о веществах и их концентрациях в атмосферном воздухе позволяет правительствам стран ЕС разрабатывать отраслевые стратегии, которые способствуют достижению целей в области качества воздуха в ЕС.

1.2. Организация контроля качества атмосферного воздуха в Российской Федерации

Контроль качества атмосферного воздуха в Российской Федерации осуществляется в соответствии с Федеральным законом от 04.05.1999 N 96-ФЗ

(ред. от 13.07.2015) «Об охране атмосферного воздуха» [29]. Этот закон устанавливает правовые основы охраны атмосферного воздуха и направлен на реализацию конституционных прав граждан на благоприятную окружающую среду и достоверную информацию о ее состоянии.

Контроль качества атмосферного воздуха реализуется через систему государственного мониторинга состояния и загрязнения атмосферного воздуха.

Государственный мониторинг атмосферного воздуха – это:

- 1) составная часть государственного мониторинга окружающей среды;
- 2) вид мониторинга атмосферного воздуха;
- 3) система наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, его загрязнением и за происходящими в нем природными явлениями, а также оценка и прогноз состояния атмосферного воздуха, его загрязнения, осуществляемых федеральными органами исполнительной власти в области охраны окружающей среды, другими органами исполнительной власти в пределах своей компетенции в порядке, установленном Правительством РФ.

Государственный контроль за охраной атмосферного воздуха должен обеспечить соблюдение: условий, установленных разрешениями на выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и на вредные физические воздействия на него; стандартов, нормативов, правил и иных требований охраны атмосферного воздуха, в том числе проведения производственного контроля за охраной атмосферного воздуха; режима санитарно-защитных зон объектов, имеющих стационарные источники выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух; выполнения федеральных целевых программ охраны атмосферного воздуха, программ субъектов Российской Федерации охраны атмосферного воздуха и выполнения мероприятий по его охране; иных требований законодательства Российской Федерации в области охраны атмосферного воздуха.

Государственный контроль за охраной атмосферного воздуха осуществляют федеральный орган исполнительной власти в области охраны окружающей среды и его территориальные органы в порядке, определенном

Правительством Российской Федерации. Органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации организуют и проводят государственный контроль (государственный экологический контроль) за охраной атмосферного воздуха, за исключением контроля на объектах хозяйственной и иной деятельности, подлежащих федеральному государственному экологическому контролю.

Сеть мониторинга качества атмосферного воздуха создана и осуществляется в системе организаций Росгидромета. Она включает 260 городов России. Регулярные наблюдения за качеством атмосферного воздуха проводятся на 710 станциях. Контрольно-наблюдательная сеть других ведомств включает еще 50 станций. В составе Государственной службы наблюдения за состоянием атмосферного воздуха действуют также специализированные подсистемы мониторинга, в частности станции в биосферных заповедниках, в том числе за трансграничным переносом загрязняющих воздух веществ. Особую роль выполняют контрольные замеры, осуществляемые в рамках совместной программы наблюдений и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе.

По особой программе (Программа ЕМЕП) работают страны, подписавшие «Конвенцию о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния». Некоторые наблюдательные станции, действующие в составе подсистем мониторинга, включены в состав международных систем наблюдения, например, станции мониторинга фоновое загрязнения атмосферы. На «фоновых» станциях в биосферных заповедниках обязательным является определение следующих химических веществ в воздухе: взвешенные частицы (аэрозоли), диоксид серы, озон, оксиды углерода, оксиды азота, углеводороды, бензапирен, хлорорганические соединения (ДДТ и др.), тяжелые металлы (свинец, ртуть, кадмий, мышьяк), фреоны. В атмосферных осадках дополнительно определяют биогенные элементы (азот, фосфор), радионуклеиды. Мониторинг важнейших компонентов атмосферы

осуществляется, кроме того, в составе глобальных международных наблюдательных сетей.

Основные применения исследований загрязнения атмосферы:

- 1) Обоснование государственных решений в области охраны окружающей среды и экологической безопасности;
- 2) Оценка риска здоровью населения и нагрузки на окружающую среду;
- 3) Выбор и оптимизация атмосфероохранных решений и технологий в отраслях экономики, городском хозяйстве и пр.;
- 4) Нормирование выбросов вредных веществ в атмосферу;
- 5) Обоснование размеров санитарно-защитных зон;
- 6) Проектирование и реконструкция объектов различного назначения;
- 7) Расчетный и гибридный мониторинг загрязнения атмосферы, усвоение и интерпретация данных инструментального мониторинга.
- 8) Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы;
- 9) Оценка последствий потенциальных и сопровождение реальных аварий и пр.;
- 10) Оценка влияния возможных изменений климата на загрязнение воздушного бассейна городов и промышленных районов [26].

1.3. Международные соглашения, связанные с качеством атмосферного воздуха

Существуют соглашения, основанные на международном праве, связанные с качеством воздуха на международном уровне, ниже приведен их краткий обзор.

Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (ТЗВБР), принятая в Женеве в 1979 г. В рамках Конвенции и ее 8 протоколов разработаны всесторонние и серьезные обязательства сторон по основным загрязнителям атмосферы (сера, окислы азота, тяжелые металлы, стойкие органические загрязнители, летучие органические соединения), которые могут

перемещаться на расстояния до нескольких тысяч километров и после выпадения наносить урон в виде подкисления, эвтрофикации, и дисперсии опасных частиц [14].

Восемь протоколов, в которых определены меры, которые Стороны должны предпринять для сокращения выбросов загрязнителей воздуха, следующие:

1. Протокол о долгосрочном финансировании Совместной программы мониторинга и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе (ЕМЕП) (1984 год);

2. Хельсинкский протокол о сокращении выбросов серы (1985 год);

3. Протокол по оксиду азота (1988 год);

4. Протокол по летучим органическим соединениям (1991 год);

5. Протокол Осло о дальнейшем сокращении выбросов серы (1994 год);

6. Протокол по тяжелым металлам (1998 год);

7. Орхусский протокол по стойким органическим загрязнителям (1998 год);

8. Гётеборгский протокол о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном (1999 год) [38].

Приложение 16 к Чикагской конвенции о международной гражданской авиации, принятое в Монреале в 1981 г. Приложением были установлены пределы эмиссии дыма и некоторых газообразных загрязняющих веществ для будущих мощных турбореактивных и турбовентиляторных двигателей, а также запрещен выброс невыработанного топлива [2].

Рамочная конвенция об изменении климата (РКИК ООН), принятая в Рио-де-Жанейро в 1992 г., в том числе Киотский протокол 1997 г. и Парижское соглашение 2015 г. РКИК определяет только общие принципы, обязательства для Сторон Конвенции, например, необходимость учета выбросов и абсорбции парниковых газов, формулировку, осуществление, публикацию и регулярное обновление национальных программ по смягчению последствий изменения климата [27]. Киотский протокол – международное соглашение,

дополнительный документ к Рамочной конвенции ООН об изменении климата (1992), принятое в Киото (Япония) в декабре 1997 года. Оно обязывает развитые страны и страны с переходной экономикой сократить или стабилизировать выбросы парниковых газов. Киотский протокол стал первым глобальным соглашением об охране окружающей среды, основанным на рыночном механизме регулирования – механизме международной торговли квотами на выбросы парниковых газов [16]. Парижское соглашение – соглашение в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата, регулирующее меры по снижению углекислого газа в атмосфере с 2020 года. Соглашение было подготовлено взамен Киотского протокола в ходе Конференции по климату в Париже и принято консенсусом 12 декабря 2015 года, а подписано 22 апреля 2016 года. Целью соглашения (согласно статье 2) является «активизировать осуществление» Рамочной конвенции ООН по изменению климата, в частности, удержать рост глобальной средней температуры «намного ниже» 2 °С и «приложить усилия» для ограничения роста температуры величиной 1,5 °С.

Страны-участники определяют свои вклады в достижение декларированной общей цели в индивидуальном порядке, пересматривают их раз в пять лет. В соглашении говорится о недостаточности предложенных в настоящее время национальных вкладов, а также об «амбициозности» и «прогнесе» по мере их пересмотра. Не предусматривается никакого механизма принуждения, как в отношении декларирования национальных целей, так и в обеспечении обязательности их достижения [21].

Соглашение между США и Канадой о качестве воздуха, принятое в 1991 г. Обе страны согласились сократить выбросы диоксида серы и оксидов азота, являющихся причиной образования кислотных дождей, и совместно сотрудничать в научно-технической сфере, решая проблемы, связанные с кислотными дождями. В 2000 г. к соглашению было добавлено приложение об озоне для решения проблемы трансграничного загрязнения воздуха. Приложение обязывает обе страны сократить свои выбросы оксидов азота и

летучих органических соединений – предшественников загрязняющих веществ приземного озона [35].

Венская конвенция об охране озонового слоя, принятая в 1985 г., в том числе Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой 1987 г. действует как основа для международных усилий по защите озонового слоя. Однако, конвенция не включает юридически обязательные цели сокращения использования хлорфторуглеродов, главных химических веществ, вызывающих истощение озонового слоя. Они изложены в сопровождающем Монреальском Протоколе [7].

Выводы по первой главе

В первой главе был рассмотрен зарубежный опыт организации контроля качества атмосферного воздуха на примере Китая, США и стран Европейского Союза. Были выделены основные законодательные акты, стратегии, программы, принятые в этих странах, направленные на улучшение экологической ситуации в части атмосферного воздуха. Была рассмотрена организация контроля качества атмосферного воздуха в Российской Федерации, которая осуществляется в соответствии с ФЗ "Об охране атмосферного воздуха", задачи государственного контроля за охраной атмосферного воздуха. Было также рассмотрено участие Российской Федерации в международных соглашениях на примере Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. Далее более подробно были изучены международные соглашения, связанные с качеством атмосферного воздуха и проведен краткий обзор их целей и задач.

2. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

2.1. Показатели качества атмосферного воздуха

Широкое применение получил Air quality index (AQI) – показатель качества воздуха, используемый государственными органами для информирования общественности о состоянии загрязнения воздуха в настоящее время и прогнозирования его изменения.

Разные страны имеют свои собственные показатели качества воздуха, соответствующих различным национальным стандартам качества воздуха, например:

Air Quality Health Index (AQHI) – система оценки, разработанная в Канаде, чтобы помочь понять влияние качества воздуха на здоровье. Она используется для принятия решений по снижению краткосрочного воздействия загрязнения воздуха, предоставляя рекомендации по улучшению качества воздуха. Этот показатель обращает особое внимание на людей, которые чувствительны к загрязнению воздуха. Благодаря этому такая группа лиц проинформирована о методах защиты своего здоровья от негативного влияния загрязненного воздуха. AQHI учитывает трехчасовые средние концентрации приземного озона и диоксида азота в частях на миллиард и мелкодисперсных частиц $PM_{2.5}$ в $мкг/м^3$.

Air Pollution Index (API) – индекс загрязнения воздуха, используемый в Малайзии, представляющий собой простой и обобщенный способ для описания качества воздуха. Учитываемыми веществами являются оксид углерода, озон, диоксид азота и диоксид серы в частях на миллион и твердые частицы PM_{10} в $мкг/м^3$.

Pollutant Standards Index (PSI) – показатель загрязнения воздуха, используемый для обозначения уровня загрязняющих веществ в воздухе в Сингапуре. PSI учитывает шесть загрязнителей воздуха - диоксид серы, твердые частицы PM_{10} , мелкие твердые частицы $PM_{2.5}$, диоксид азота, оксид

углерода и озон. В дополнение к PSI, полученный путем усреднения данных, собранных за последние 24 часа, Сингапур также публикует PSI, основанный на концентрации $PM_{2.5}$ в течение последних 3-х часов (3h-PSI).

Common Air Quality Index (or CAQI) - общий индекс качества воздуха, используемый в Европе, состоящий из нескольких индексов. Ежечасный индекс описывает качество воздуха на текущий день на основе почасовых значений и обновляется каждые два часа. Ежедневный индекс обозначает общее качество воздуха предыдущего дня на основе ежедневных значений и обновляется один раз в день. Годовой индекс представляет собой общие условия качества воздуха города в течение года и основывается на среднегодовом уровне загрязнения, обновляется один раз в год.

В Российской Федерации используется ИЗА – комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей. Величина ИЗА рассчитывается по значениям среднегодовых концентраций и характеризует уровень хронического, длительного загрязнения воздуха [13].

2.2. Математические модели распространения примесей в атмосфере

Модели распространения примесей в атмосфере показывают рассеяние загрязнителей воздуха в окружающей атмосфере. Они выполняются с помощью компьютерных программ, которые решают математические уравнения и алгоритмы и моделируют дисперсию загрязнителя. Кроме этого они могут также использоваться для предсказания будущих концентраций согласно определенным сценариям (т.е. изменениям в источниках эмиссии). Модели дисперсии используются государственными учреждениями, отвечающих за управление качеством воздуха, облегчают разработку эффективных стратегий сокращения выбросов загрязнителей атмосферного воздуха. Модели используются также для определения последствий аварийных выбросов опасных веществ [34].

Модели дисперсии варьируются в зависимости от математических методов, используемых в разработке модели, но все требуют входных данных, которые включают:

1. Метеорологические условия, такие как скорость ветра и направление, сумма атмосферной турбулентности, температура окружающего воздуха, облачный покров и солнечное излучение.

2. Характеристики выброса – его высота, тип источника, выходная скорость и температура.

3. Рельеф местности, местоположение, высота и ширина любых преград на пути выброса (здания или другие структуры).

Ниже проведен обзор некоторых математических моделей.

ADMS – модель дисперсии для вычисления концентраций загрязнителей атмосферы, учитывающая непрерывные выбросы от точечных, линейных и площадных источников и периодические выбросы от точечных источников [51], созданная в Великобритании. Модель включает алгоритмы, которые принимают во внимание: влияние сложного ландшафта; влияние близости береговой линии; осаждение частиц силой тяжести; краткосрочные колебания концентрации загрязнителя; химические реакции; радиоактивный распад; направленные выбросы и выбросы самолетов и другие параметры.

CALPUFF – метеорологическая система и система моделирования качества воздуха, разработанная в США и принятая Агентством по охране окружающей среды (USEPA) как предпочтительная модель для оценки дальнего переноса загрязнителей и их воздействий на окружающую среду, учитывающая сложные метеорологические условия. Главными компонентами системы моделирования являются CALMET (диагностическая 3-мерная метеорологическая модель), CALPUFF (модель дисперсии качества воздуха), и CALPOST (пакет постобработки). У каждой из этих программ есть графический интерфейс пользователя (GUI). В дополнение к этим компонентам есть многочисленные другие процессоры, которые могут использоваться для подготовки геофизических, метеорологических данных и интерфейсов к другим

моделям, например, Weather Research и Forecasting (WRF) и National Centers for Environmental Prediction (NCEP) [47].

CALINE3 – Гауссовская модель дисперсии, разработанная для определения концентрации загрязнителя в воздухе в подветренных местах автомобильных дорог, расположенных в условиях относительно несложного ландшафта. CALINE3 включен в более тщательно продуманные модели CAL3QHC и CAL3QHCR, которые доступны на языке программирования Фортран. С их помощью можно смоделировать распространение твердых примесей в атмосфере, угарного газа, и включать алгоритмы, моделирующие стоящее в очереди движение автотранспорта на регулируемых перекрестках [52].

ДЕНМ представляет собой трехмерную, автономную крупномасштабную эйлеровскую транспортную модель атмосферной химии (СТМ), разработанную для изучения переноса воздуха на большие расстояния в северном полушарии. ДЕНМ прогнозирует региональные фоновые концентрации на основе выбросов, атмосферного транспорта, химических реакций и сухого и влажного осаждения загрязнителей воздуха в трехмерной сетке, охватывающей северное полушарие, с горизонтальным разрешением 150×150 км [45].

Почасовые фоновые концентрации в городах моделируются с помощью UBM. UBM вычисляет фоновые концентрации в городах на основе кадастров выбросов с пространственным разрешением 1×1 км с использованием часовых региональных фоновых концентраций из ДЕНМ в качестве граничных условий и метеорологических данных, данных наземного покрова для оценки шероховатости поверхности. Концентрации городского фона моделируются с высоким пространственным разрешением; для центральных точек ячеек сетки 1×1 км, эквивалентных эмиссионной сетке.

OSPM – эксплуатационная модель загрязнения улиц. OSPM требует информации о геометрии улиц (например, ориентация улицы, ширина улицы, длина улицы, высота здания в ветровых секторах), транспортный поток, выбросы транспортных средств, метеорологические параметры и концентрации

городского фона. Учитывается влияние турбулентности, вызванной движением, и это особенно важно при низких скоростях ветра, где обычно появляются самые высокие уровни загрязняющих веществ. Модель также включает простую фотохимию с участием NO, NO₂ и O₃ для оценки концентраций NO₂ [41]. Модель не предназначена для оценки придорожных концентраций вблизи автомагистралей. OSPM успешно протестирована против станций мониторинга в Дании, в ряде других европейских стран, а также в США и некоторых странах Азии.

Система AirGIS. Система AirGIS представляет собой систему оценки загрязнения воздуха и оценки воздействия на человека, которая была разработана для учета изменчивости качества воздуха. AirGIS была разработана для поддержки оценки и управления качеством воздуха в городах, а также для оценки воздействия на человека в эпидемиологических исследованиях загрязнения воздуха. Система AirGIS представляет собой детерминированную систему оценки качества воздуха на основе интегрированной системы моделирования OSPM, DEHM, с использованием цифровых карт, данных автомобильного трафика, данных географических информационных систем (ГИС). Одна из уникальных особенностей AirGIS заключается в том, что она способна генерировать уличную конфигурацию и данные об автомобильном трафике, что позволяет автоматически и эффективно оценивать уровни качества воздуха на большом количестве уличных мест.

2.3. Зарубежный опыт изучения загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха

Ученые из Института транспортных исследований и образования Государственного университета Северной Каролины предложили следующий способ оценки уровня загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха. Они предложили использовать разграничение и сопоставление зон воздействия на дорогах (TEZ) с использованием высокоточного мониторинга атмосферного

воздуха на дороге. Используя подробную информацию об условиях движения в сочетании с возможностями ГИС, дороги были разделены на TEZ [37].

Шесть взаимоисключающих TEZ были сформированы на основе переменных автотранспортного движения, транзитных маршрутов, данных об округах и урбанизации. На рисунке 1 показаны их местоположения в области исследования. Зоны воздействия на дорогах были отнесены к категориям от минимального до самого высокого ожидаемого трафика. Первые три зоны были основаны на областях: трех участках исследования округа (TEZ 1), урбанизированных районах переписи (TEZ 2) и районах с высокой плотностью светофоров (TEZ 3). Еще три зоны с более высоким ожидаемым уровнем автотранспортных потоков были основаны на дорожных сегментах, определяющих дороги с автодорожными маршрутами транзита (TEZ 4), дороги с высоким объемом движения (TEZ 5) и дороги с большими задержками движения (TEZ 6).

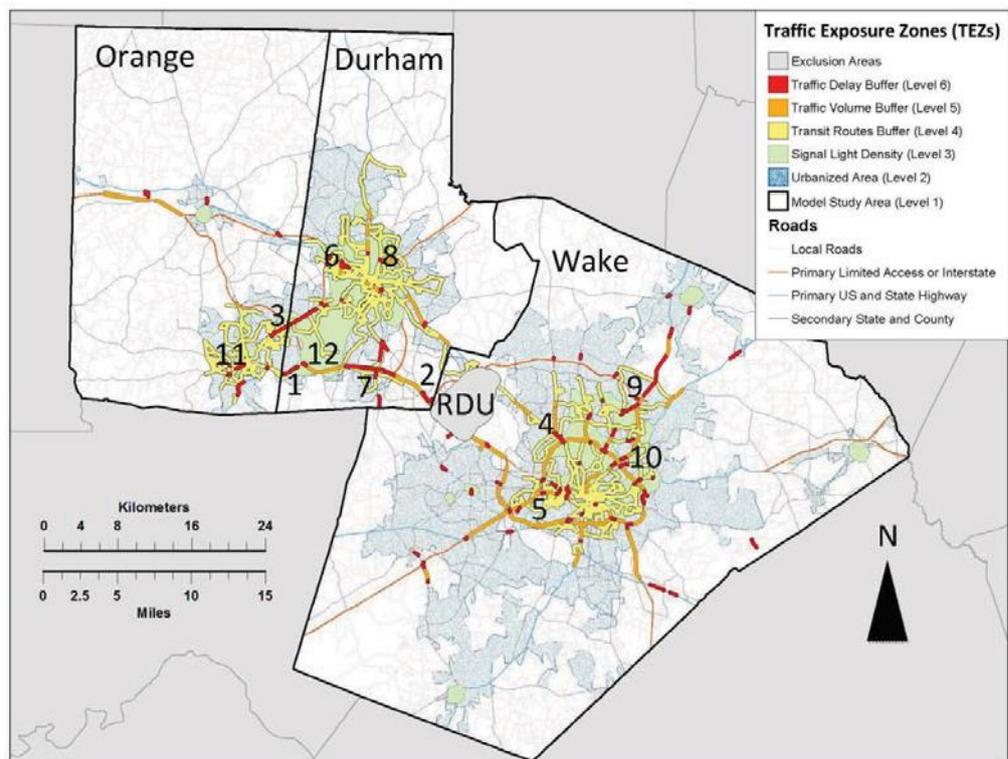


Рис. 1. Область изучения трех округов в Северной Каролине с зонами воздействия на дорогах (TEZs) (буферная зона 200 м вокруг дорожных сегментов используется для отображения TEZ 4-6) [37]

Мониторинг проводился во время утренних часов пик в будние дни с помощью специально оборудованного электромобиля. Результаты анализа данных мониторинга показали, что дороги с высоким объемом движения, классифицированные как TEZ 5, показали значительно более высокие уровни для большинства загрязняющих частиц, ультрамелких частиц и CO, чем другие зоны воздействия на дорогах. TEZ 6 показал значительно более высокий уровень содержания загрязняющих веществ, сверхмелкозернистых частиц и NO₂, по сравнению с их содержанием на автобусных маршрутах или зонах с высокой плотностью светофоров. Более высокие уровни загрязняющих частиц в больших объемах в зонах задержки движения могут указывать на больший эффект от дорожной пыли и износа шин и тормозов в сравнении с другими зонами.

Существует другой метод моделирования, широко используемый в Северной Америке и странах Европы – Land Use Regression (LUR). Основное преимущество LUR заключается в том, что он основан на характеристиках, связанных с общими тенденциями загрязнителей воздуха, в основном для более длительных временных масштабов. Он принимает измерения загрязнения с использованием пробоотборников в качестве зависимой переменной и землепользования, автомобильного трафика, демографических и географических характеристик в качестве переменных-предикторов [53]. Таким образом, LUR предсказывает концентрации загрязнения, основанные на окружающем землепользовании и характеристиках движения в круговых зонах (буферах), в качестве предикторов измеренных концентраций (рис. 2) [32]. Более того, совершенствование методов географических информационных систем (ГИС) способствовало распространению метода LUR. Сложность использования данного метода состоит в том, что он до сих пор не стандартизирован, и способы его применения различаются в каждом исследовании. Это связано в первую очередь со значительными различиями исследуемых городов, особенности которых не позволяли создать унифицированный способ моделирования [4].

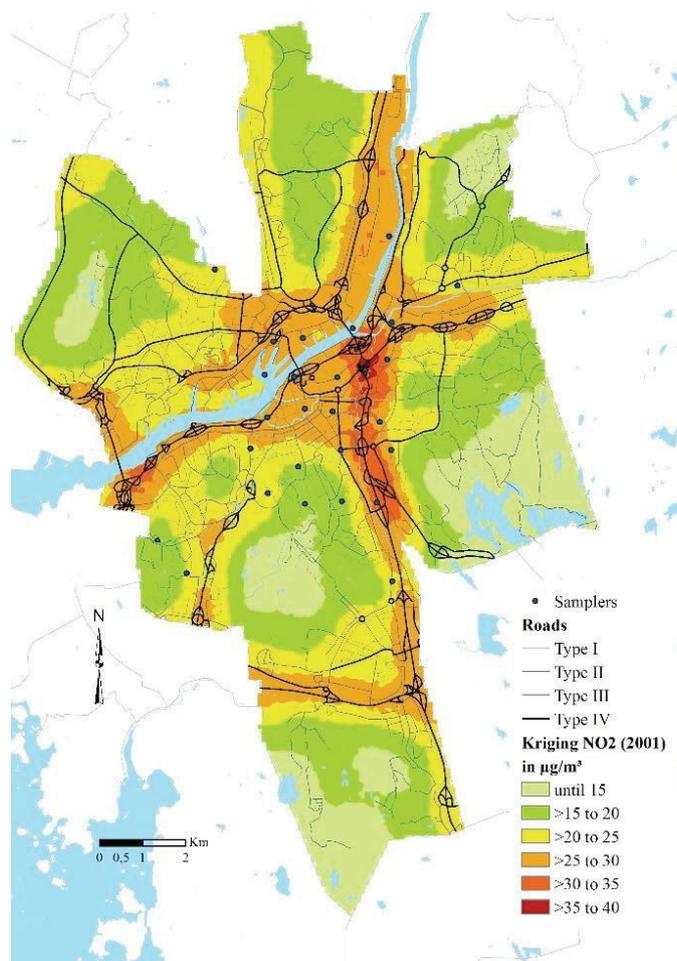


Рис. 2. Концентрация NO₂ (в мкг/м³) в городской местности Гётеборг и Мёльдал, предсказанная моделью LUR для 2001 года [44]

Также метод LUR имеет некоторые ограничения [33]:

1. Модели LUR имеют ограниченную способность отделять воздействие некоторых приоритетных загрязняющих веществ.

2. Большинство исследований LUR не включают изменения во времени или имеют ограниченную калибровку в разные годы, поскольку они были основаны на краткосрочных мониторинговых кампаниях.

3. Модель LUR предназначена для прогнозирования общей концентрации загрязняющих веществ. Напротив, дисперсионные модели имеют преимущество, когда интерес заключается в конкретном компоненте, связанном с источником, от общей концентрации.

4. Хотя модели LUR предоставляют индивидуальные оценки воздействия на окружающую среду, их предикторные переменные не включают

проникновение наружного воздуха в дом или только оценки концентрации на уровне крыши. Эта проблема может повлиять на все методы оценки воздействия на окружающую среду из-за отсутствия доступных данных, сложности и высоких затрат на сбор данных.

В модели LUR для Гётеборга [44] были предсказаны переменные-предикторы для круговых зон вокруг каждого участка мониторинга с радиусом от 50 до 500 м. Радиусы, превышающие 500 м, не были включены в моделирование, поскольку они могут перекрываться из-за близости площадок пробоотборников друг к другу. Радиус имеет решающее значение для определения характеристик модели, поскольку он должен учитывать известные дисперсионные закономерности, использование радиусов 150-200 достаточно для обнаружения воздействия к движению транспортных средств, поскольку большинство составляющих автомобильных выхлопов уменьшаются до концентрации окружающей среды на этом расстоянии [50]. В этом исследовании было обнаружено значительное влияние автомобильного трафика на концентрацию NO_2 на этом расстоянии. По сравнению с дисперсионными моделями LUR является менее дорогостоящим вариантом для оценки городской изменчивости загрязнения воздуха, поскольку он сочетает мониторинг загрязнения воздуха в меньшем количестве мест и разработку моделей с использованием прогнозирующих переменных, полученных с помощью ГИС [33].

Несмотря на некоторые ограничения, LUR является быстрым методом для доступа к данным о загрязнении воздуха. LUR количественно оценивает параметры, связанные с ухудшением качества воздуха, например, землепользование с высокой плотностью, промышленные районы или районы с оживленным движением, а также может поддерживать разработку природоохранной политики в отношении снижения концентрации загрязнения воздуха. Потенциальные преимущества этой модели исследований воздействия на здоровье включают улучшение пространственных оценок воздействия загрязнителей атмосферы и снижение потребности в обширных измерениях

загрязняющих веществ. Тем не менее, модель может быть более точной с учетом метеорологических переменных [44].

2.4. Российский опыт изучения загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха

Для того, чтобы иметь представление о том, каким образом проводится изучение загрязнения атмосферного воздуха в Российской Федерации, ниже представлен краткий обзор научных трудов российских ученых.

А.Б. Якушевым в автореферате диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук «Геоэкологическая оценка воздействия автотранспортного комплекса на воздушный бассейн промышленно развитых городов Центрального Черноземья» были определены и решены следующие задачи [31]:

1. Сформированы базы данных и определен качественный и количественный состав приоритетных загрязняющих веществ в выбросах от автотранспорта на различных дорожно-транспортных сетях городов.

2. Исследованы природные и техногенные факторы, формирующие качество атмосферы придорожной полосы (оценка дорожных, инженерно-экологических и микроклиматических факторов на примере базового объекта исследования – г. Воронежа).

3. Обоснована роль транспортных факторов в формировании качества окружающей среды в городах.

4. Проведена оценка факторов экологической безопасности атмосферного воздуха и эффективности мер по снижению выбросов в атмосферный воздух от транспортного комплекса крупных городов Центрального Черноземья.

5. Осуществлена оценка экологического риска для населения, связанного с транспортным комплексом, и разработаны рекомендации по снижению экологического риска.

6. Предложена оптимальная схема дорожно-транспортной сети промышленных городов Центрального Черноземья, способствующая минимальному воздействию сложившегося транспортного комплекса на воздушный бассейн городской среды.

М.В. Волкодаева в автореферате диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук «Научно-методические основы оценки воздействия автотранспорта на атмосферный воздух» определила следующие задачи исследований [9]:

1) разработка научно-методических основ оценки воздействия автотранспорта на атмосферный воздух;

2) разработка метода расчета годовых выбросов вредных (загрязняющих) веществ (ЗВ) от автотранспорта для регионов РФ;

3) совершенствование метода обследования автотранспортных потоков (АТП) и проведение натурных и статистических исследований АТП в городах РФ с различной интенсивностью движения;

4) разработка метода расчета максимальных выбросов ЗВ от АТП вблизи регулируемых перекрестков и оценки их воздействия на атмосферный воздух;

5) разработка метода расчета максимальных выбросов ЗВ от АТП на городских автомагистралях городов;

6) выбор и обоснование метода расчета загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта;

7) расчет и анализ загрязнения атмосферного воздуха как вблизи отдельных автомагистралей и перекрестков, так и в целом по городам с различной интенсивностью движения АТП, расположенным в разных климатических зонах;

8) разработка методологии оценки эффективности мероприятий по снижению вклада автотранспорта в загрязнение атмосферного воздуха и обоснование применения данной методологии на конкретных примерах;

9) анализ эффективности мероприятий по снижению выбросов автотранспорта с целью достижения нормативов качества атмосферного воздуха.

Н.В. Зиброва в автореферате диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук «Геоэкологическая оценка кумулятивного эффекта локального загрязнения приземного слоя воздуха (на примере г. Воронежа)» отмечает, что для достижения цели необходимо было решить следующие задачи [12]:

1. Провести геоэкологический анализ состояния городской среды, в частности, приземного слоя воздуха.
2. Провести оценку эколого-зависимых заболеваний населения крупного города.
3. Определить влияние кумулятивного эффекта локального загрязнения воздуха на показатели заболеваемости по отдельным классам болезней.
4. Разработать рекомендации по снижению вредного воздействия загрязнения воздушной среды на здоровье населения.

А.А. Миронов в автореферате диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук «Изучение загрязнения атмосферного воздуха от автотранспортных потоков в условиях городских территорий (на примере города Чебоксары Чувашской республики) определил следующие задачи исследования [17]:

1. Оценка экологической ситуации на городской территории и выявление закономерностей её формирования;
2. Определение интенсивности автотранспортного потока на дорогах города;
3. Выявление и классификация основных архитектурных типов городской застройки относительно транспортных магистралей;
4. Выявление закономерностей формирования полей загрязнения в зависимости от типов застройки территории и интенсивности транспортных потоков.

М.М. Полуэктова в автореферате диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Метод оценки загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом с использованием геоинформационных систем» отмечает следующие задачи исследования [23]:

1) проведение натурных обследований состава и интенсивности автотранспортных потоков в ряде городов РФ;

2) разработка метода расчета удельных показателей выбросов основных загрязняющих веществ различных категорий АТС с учетом их экологических характеристик, а также уточнение коэффициентов, учитывающих изменение выбросов загрязняющих веществ при различных скоростях движения АТС;

3) применение современных геоинформационных систем для определения основных планировочных характеристик магистралей и перекрестков;

4) проведение расчетной оценки загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей и перекрестков с использованием ГИС;

5) анализ зависимости уровня загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей от параметров источников выбросов автотранспорта и метеорологических условий.

Н.Л. Нуман в автореферате диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Исследование и разработка методов регулирования загрязнения городского воздуха, вызванного автомобильным транспортом» поставила и решила следующие задачи [19]:

1) Произведен анализ условий возникновения риска для здоровья населения города, обусловленного загрязнением воздуха выбросами от автомобильного транспорта.

2) Предложено использовать методы статистического моделирования применительно к задаче выбора маршрутов движения автомашин в пределах города.

3) Задача выбора маршрутов решена с помощью разработанного алгоритма и подпрограммы.

4) Методами динамического программирования произведена оптимизация полученных маршрутов с целью моделирования движения автомашин, близкого к реальному. Для этого разработан алгоритм и блок программы, отвечающие за реализацию этой части модели.

5) На основе оптимизации маршрутов получена относительная и абсолютная интенсивность движения автотранспорта в модели. Расчет этих характеристик произведен по составленному алгоритму и программе.

6) Проанализированы существующие модели расчета и прогноза загрязнения от линейных источников наземного типа. Построен алгоритм и программа для расчета полей загрязнения городского воздуха выбросами от автотранспорта.

7) Регулирование уровней загрязнения, превышающих значения ВДК, произведено с помощью алгоритмического варианта модели.

В.А. Андрианов в автореферате диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Метод коррекции расчетных полей загрязнения воздуха выбросами автотранспорта с использованием данных мониторинга атмосферы» отметил, что для достижения цели исследования было необходимо [1]:

1) провести анализ современных методических подходов к определению массы выброса загрязняющих веществ от автотранспортных источников;

2) провести анализ полноты и достоверности исходных данных, используемых математическими моделями;

3) оценить по результатам специальных наблюдений суммарную погрешность расчета текущих полей загрязнения за счет выбросов автотранспорта;

4) исследовать существующую в Москве территориальную сеть автоматизированных постов измерений загрязнения атмосферы и выделить некоторое подмножество этой сети (реперная сеть), вклад автотранспорта для которой носит определяющий характер;

5) сформировать комплекс баз исходных данных для интенсивностей движения автотранспорта, городской застройки, наблюдений и метеорологических параметров атмосферы, адаптированный для решения поставленной задачи;

б) разработать методику корректировки расчетных полей загрязнения с использованием данных сети реперных станций мониторинга;

7) провести цикл расчетов климатических характеристик загрязнения и построить в итоге комплект достоверных климатических карт загрязнения.

Е.Н. Филатова в автореферате диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Моделирование загрязнения атмосферы по оперативным данным» поставила следующие задачи для достижения цели исследования [30]:

1) Формулировка принципов сопоставления расчетов и данных измерений для рассматриваемого класса моделей расчета концентраций по оперативным данным;

2) Разработка математической модели диффузии примеси от точечного источника при конкретных внешних условиях;

3) Параметризация пограничного слоя атмосферы, позволяющая по данным наземных наблюдений получить информацию, необходимую для расчетов по модели;

4) Реализация современной модели диффузии, основанной на едином методическом подходе к расчету рассеяния примеси при различных метеорологических условиях;

5) Развитие методологии применения разработанной модели для решения задач, возникающих в атмосфероохранной практике.

И.В. Смирнова в автореферате диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук «Методология оценки достоверности и интерпретация результатов наблюдений за концентрациями примесей в атмосфере городов России» поставила следующие задачи исследования [28]:

1) Разработать метод оценки погрешности результатов измерений концентраций примесей в воздухе в условиях работы сети на основе статистической обработки этих данных;

2) Оценить суммарную погрешность данных наблюдений в конкретных городах за выбранный временной период с использованием разработанного метода;

3) Оценить вклад метеорологических условий в различных географических районах России в статистические показатели загрязнения воздуха (средние, максимальные концентрации) на основе модельных оценок характеристик условий рассеивания примесей в атмосфере;

4) Разработать способ оценки ожидаемого уровня загрязнения воздуха металлами в городах на основе совместного анализа данных о выбросах и концентрациях загрязняющих веществ;

5) Сравнить уровни загрязнения воздуха в городах Российской Федерации с уровнями загрязнения воздуха в городах других стран по данным национальных систем мониторинга;

6) Разработать методику графического представления и интерпретации информации об уровнях загрязнения воздуха в городах для ее наглядной оценки.

И.В. Сидоренко в автореферате диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Совершенствование методологии комплексной оценки загрязнения воздушного бассейна крупного города для обоснования мониторинга и системы контроля» отмечает решение следующих основных задач [25]:

1) анализ взаимосвязи метеорологических и микроклиматических параметров воздушного бассейна в жилой застройке крупных городов;

2) пофакторный анализ оценки воздействия на состояние воздушной среды города разнородных источников автотранспорта, промышленности, природных источников;

3) определение особенностей формирования метеорологически неблагоприятного состояния воздушной среды в зонах суммации действия загрязняющих веществ;

4) оценка на основе натуральных замеров закономерностей формирования зон загрязнения воздушного бассейна крупных городов (на примере г. Волгоград);

5) разработка принципов построения аэрографической схемы движения воздушных масс, формирующих зоны загрязнения воздушного бассейна крупных городов;

6) разработка основополагающих принципов методики комплексной оценки загрязнения воздушной среды крупного города разнородными источниками;

7) определение определяющих факторов и условий повышения качества воздушной среды крупных городов на основе комплексной оценки воздействия разнородных источников загрязнения;

8) разработка рекомендаций по мониторингу и повышению качества воздушной среды крупных городских комплексов.

Основываясь на том, какие задачи ставят перед собой российские ученые, изучая проблему загрязнения атмосферного воздуха, можно выделить основные направления тематики их исследований:

1. Изучение автотранспортных потоков, их характеристик, расположения относительно городской застройки (с учетом ее типа), и создание моделей распространения загрязняющих веществ вблизи автомобильных дорог с учетом метеорологических и микроклиматических параметров.

2. Создание математических моделей диффузии примеси от точечных источников, основанных на едином методическом подходе, для расчета рассеяния примеси при различных метеорологических условиях.

3. Оценка экологического состояния атмосферного воздуха в городах Российской Федерации и сравнение уровней загрязнения воздуха в этих

городах с уровнями загрязнения воздуха в городах других стран по данным национальных систем мониторинга.

4. Оценка эколого-зависимых заболеваний населения, оценка влияния локального загрязнения воздуха на показатели заболеваемости по отдельным классам болезней, разработка рекомендаций по снижению вредного воздействия загрязнения воздушной среды на здоровье населения.

Также следует отметить, что российскими учеными внедряются зарубежные методы изучения загрязнения атмосферного воздуха.

Так, например, метод Land Use Regression для предсказания уровня загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха был использован К.М. Антроповым на примере г. Екатеринбурга. Для создания модели LUR в Екатеринбурге были проведены измерения концентраций NO₂ в июне 2010 г. Использовались пассивные пробоотборники Palms, которые устанавливались на 2 недели в 80 местах города. Кроме того, после создания модели LUR и построения карты загрязнения была проведена еще одна серия измерений (сентябрь 2010 г.), цель которой заключалась в проверке полученных результатов моделирования.

Также был собран и обработан набор доступных для Екатеринбурга географических данных. На основе данных источников информации было создано 76 исходных географических переменных. Расчет переменных производился с использованием размеров буферных круговых зон 50, 100, 200, 300, 400, 500, 700 и 1000 м. На основе данных OSM было получено несколько групп переменных. Полученная регрессионная модель загрязнения атмосферного воздуха NO₂ была использована для создания карты загрязнения [5].

В результате статистического анализа полученной информации итоговым вариантом модели LUR было выбрано уравнение регрессии, в котором содержится только две переменных: *Road* и *veg_400*.

$$LUR(NO_2) = 16,72 + [Road] \cdot 0,897 - [veg_400] \cdot 0,0267$$

Переменная *Road* – влияние дорожной сети города, составная интегральная переменная, включающая в себя несколько переменных, описывающих дороги R1 и R2. Переменная *veg_400* – оценка плотности застройки, полученная с помощью спутниковых снимков LandSat (для расчета использован радиус буферной зоны 400 м). Коэффициент детерминации модели $R^2 = 0,70$ (достаточно высок).

Полученная регрессионная модель использована для создания карты загрязнения атмосферного воздуха NO_2 в Екатеринбурге (рис. 3). Полученная модель прошла проверку с помощью дополнительной серии измерений концентраций NO_2 . Получены высокие коэффициенты корреляции между измеренными и моделируемыми значениями концентраций NO_2 ($r = 0,86$), что является подтверждением устойчивости модели загрязнения.

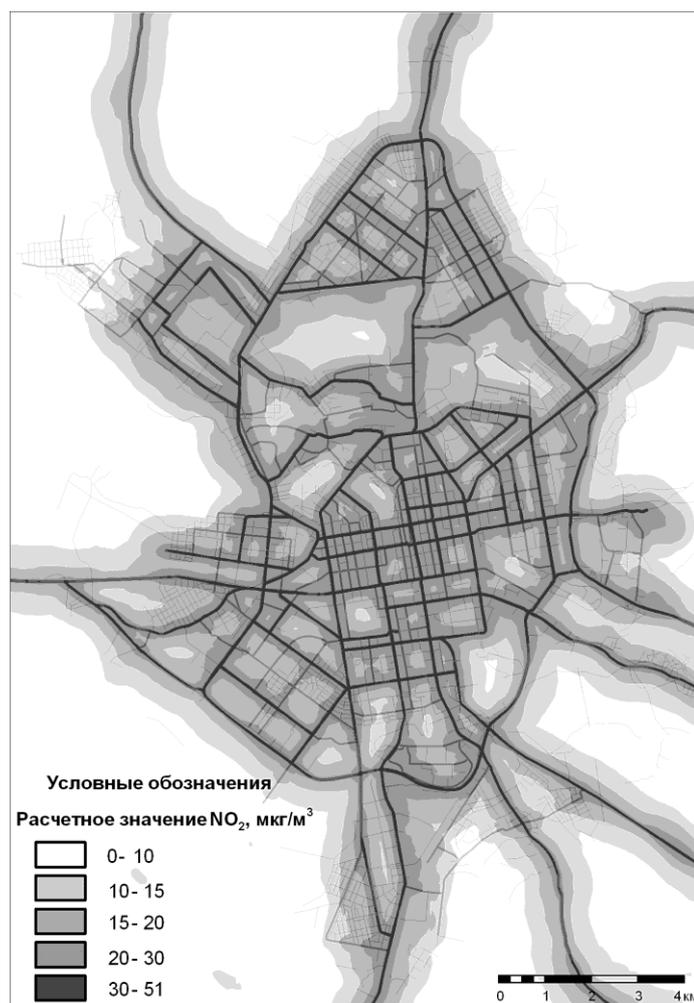


Рис. 3. Карта загрязнения Екатеринбурга NO_2 [5]

Модель LUR для NO₂ построена только с использованием открытых источников информации о городской уличной сети (OSM, LandSat). Данное исследование показало, что при минимальных материальных затратах подобная модель может быть построена для любого города России и мира.

Выводы по второй главе

Во второй главе выпускной квалификационной работы были рассмотрены методы контроля за загрязнением атмосферного воздуха. Был проведен краткий обзор показателей качества атмосферного воздуха в разных странах, которые имеют свои собственные показатели качества воздуха, соответствующих различным национальным стандартам качества воздуха. Они основываются на Air quality index (AQI) – показателе качества воздуха, используемом государственными органами для информирования общественности о состоянии загрязнения воздуха в настоящее время и прогнозирования его изменения.

Были рассмотрены различные математические модели распространения примесей в атмосфере, которые показывают рассеяние загрязнителей воздуха в окружающей атмосфере и включают такие входные данные, как метеорологические условия, характеристики выброса, рельеф местности.

Был проведен краткий обзор зарубежного опыта изучения загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха на примере метода разграничения и сопоставления зон воздействия на дорогах (TEZ) и метода Land Use Regression (LUR).

Российский опыт изучения загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха был проанализирован путем рассмотрения направлений исследований российских ученых, которые отражены в диссертационных исследованиях. Были выделены основные направления тематики их исследований и рассмотрено внедрение зарубежных методов изучения загрязнения атмосферного воздуха на примере метода Land Use Regression.

В то же время рассмотренные методы оценки экологического состояния атмосферного воздуха не лишены некоторых недостатков. Для метода Land Use

Regression это достаточно трудоемкое тестирование экологической ситуации на ключевых участках; размеры ключевых участков, т. н. круговых буферных зон, составляют ареалы по предикторам, например, на основе данных плотности дорожной сети диаметром от 100 м, а по предикторам на основе данных о типах землепользования от 300 до 1000 м [3], что вызывает вопросы в адекватности сопоставления разномасштабных показателей в интегральную карту. Многие предикторы, например, по «плотности населения», имеют неоднозначное влияние на интерпретацию пространственной динамики загрязнения. Так, например, если в масштабах города повышение плотности населения может увязываться с ростом показателя интенсивности автотранспортных потоков и, соответственно, ростом уровней загрязнения, то в поквартальном масштабе, особенно в масштабе размеров и ареалов предикторов, зависимость может иметь и обратный характер. Все это вызывает необходимость трудоемкой индивидуальной подгонки соответствующих математических моделей для каждого населенного пункта, и обуславливает не всегда высокие коэффициенты детерминации между предикторами и уровнями загрязнения окружающей среды, например, в Монреале (Канада) он в отдельные периоды наблюдения опускался до $r^2=0.55$ [3]. Модель California Line Sours Dispersion Model (CALINE-4) базируется на гауссовой модели факела и дает оценку концентраций ингредиентов в радиусе не более 500 м от автомагистрали. Простота реализации указанной модели и небольшой объем требуемой для нее входной информации обеспечили ее широкое использование. Однако результаты моделирования часто можно рассматривать только как качественные оценки, так как в модели не учтены многие факторы, влияющие на рассеивание примеси, например – особенности городской застройки, рельеф местности, метеорологические характеристики. Модель Danish Operational Street Pollution Model (OSPM) ориентирована на расчет примесей от автотранспорта с учетом городской аэрографии и метеорологических условий. К достоинствам модели можно отнести возможность рассмотрения различных конфигураций городских каньонов, ширины и высоты зданий и включение в

расчеты механической турбулентности, порождаемой движением автомобилей, учет которой особенно значим при работе двигателя на холостом ходу или при штилевых условиях. К недостаткам OSPM можно отнести невозможность учета деформации общего ветрового потока в зависимости от конфигурации застройки и оценки уровня загрязнения воздуха в точках, удаленных от автомагистралей [6].

Необходимо отметить, что и прочие вышеперечисленные подходы к оценке экологической ситуации на территории городов достаточно узкоспециализированные и не всегда адекватно отображают реальную картину с экологической ситуацией. Например, территория г. Белгорода достаточно обширна и разнородна по геоморфологическим условиям для того, чтобы составить дифференцированную картину на основании данных всего одной метеостанции, расположенной на северной окраине города. Проблемой является также невозможность организации сети мониторинга за качеством атмосферного воздуха в зонах интенсивного движения автотранспорта [8]. Расчетные методы (ОНД-86) ориентированы на решение вопросов достижения или не достижения граничных концентраций при условии проявления определенной совокупности неблагоприятных метеорологических условий, что также фактически не дает реальной картины формирования экологической ситуации на территории города.

В целях получения первичной укрупненной оценки экологической ситуации на территории г. Белгорода нами был использован метод выделения ключевых территорий на основе эколого-функционального зонирования г. Белгорода с последующим заложением пробных площадок [22]. Результаты исследования, проведенного с использованием данного метода, представлены в третьей главе данной выпускной квалификационной работы.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В Г. БЕЛГОРОДЕ

3.1. Методика проведения исследований

Для достижения цели магистерской диссертации – выявления особенностей загрязнения приземного слоя атмосферы в г. Белгороде под влиянием автотранспорта, были определены следующие задачи:

1) Разработка программы проведения наблюдений за загрязнением приземного слоя атмосферного воздуха в г. Белгороде, выделение ключевых участков и пунктов наблюдений;

2) Проведение серии наблюдений на каждом из ключевых участков, систематизация полученных значений концентраций загрязняющих веществ;

3) Проведение анализа совокупности значений, полученных в ходе предыдущей задачи, выявление особенностей загрязнения приземного слоя атмосферы на каждом из ключевых участков под влиянием автотранспорта;

4) Обобщение полученных сведений, подведение итогов.

Объект исследования: загрязнение атмосферного воздуха. Предмет исследования: изменение во времени загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха в различных частях г. Белгорода.

Методика исследования. Для оценки текущего экологического состояния приземного слоя атмосферного воздуха на территории г. Белгорода были выбраны ключевые участки, расположенные в различных частях города (рис. 4). Расположение пунктов наблюдений показано на рисунках 5-7, таблицах 1-3.

Помимо пунктов наблюдений, расположенных рядом с перекрестками и между ними, для каждого из ключевых участков был выбран пункт наблюдений, расположенный вдали от автомобильных дорог, с целью определения фонового загрязнения.

Пункты наблюдений размещены в соответствии с пунктом 3.4.4. Руководства по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89 [24], согласно которому: точки наблюдения выбираются на городских улицах в

районах с интенсивным движением транспорта и располагаются на различных участках улиц в местах, где часто производится торможение автомобилей и выбрасывается наибольшее количество вредных примесей.

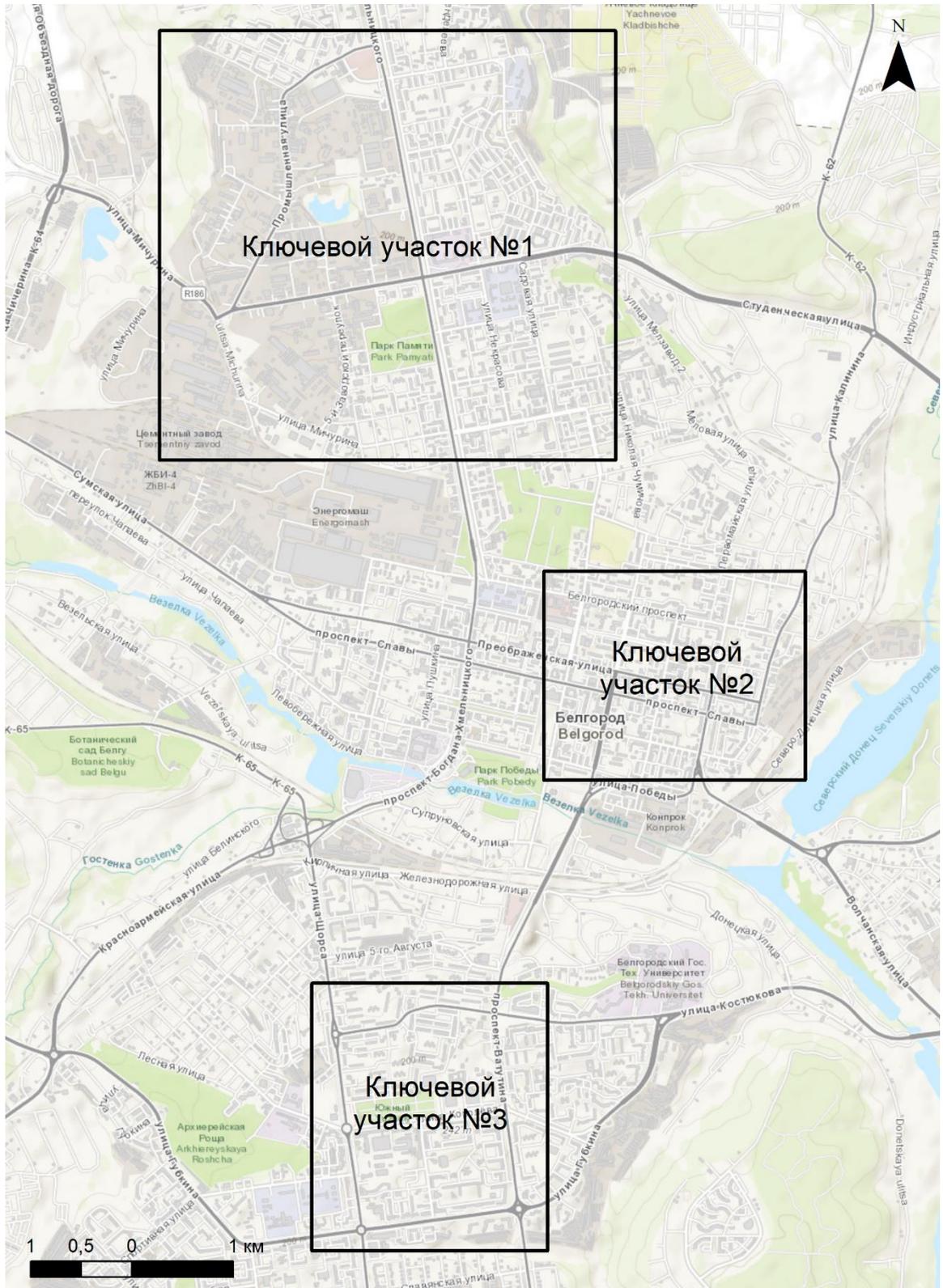


Рис. 4. Карта-схема расположения ключевых участков в г. Белгороде

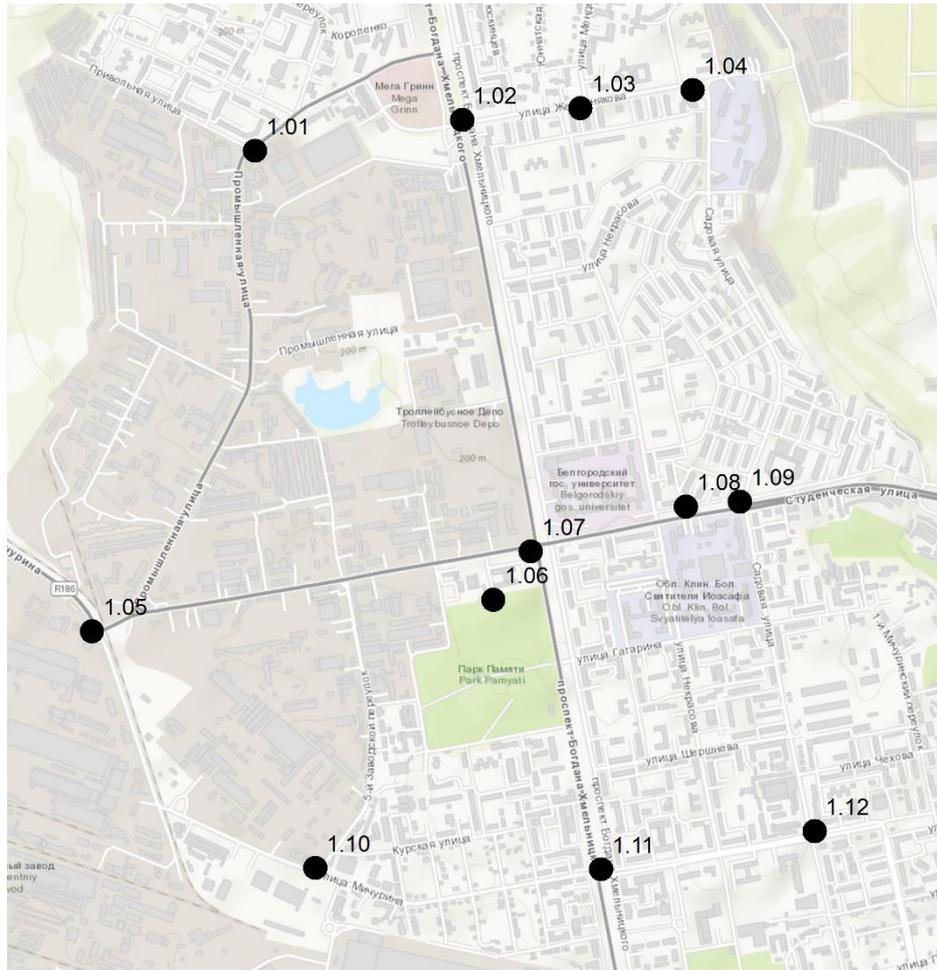


Рис. 5. Схема расположения пунктов наблюдений на ключевом участке №1

Таблица 1

Пункты наблюдений на ключевом участке №1 (северная часть города)

№ пункта	Положение пункта на пересечении автомобильных дорог
1.01	ул. Привольная - ул. Промышленная
1.02	ул. Железнякава - просп. Богдана Хмельницкого - ул. Привольная
1.04	ул. Садовая - ул. Железнякава
1.05	ул. Мичурина - ул. Студенческая
1.07	ул. Студенческая - просп. Богдана Хмельницкого
1.09	ул. Студенческая - ул. Садовая
1.10	ул. Мичурина - 5-й пер. Заводской
1.11	ул. Мичурина - просп. Богдана Хмельницкого
1.12	ул. Мичурина - ул. Садовая
Дополнительные пункты	
1.03	На ул. Железнякава, между пунктами 1.02 и 1.04
1.06	В парковой зоне, для получения фоновых концентраций
1.08	На ул. Студенческой, между пунктами 1.07 и 1.09

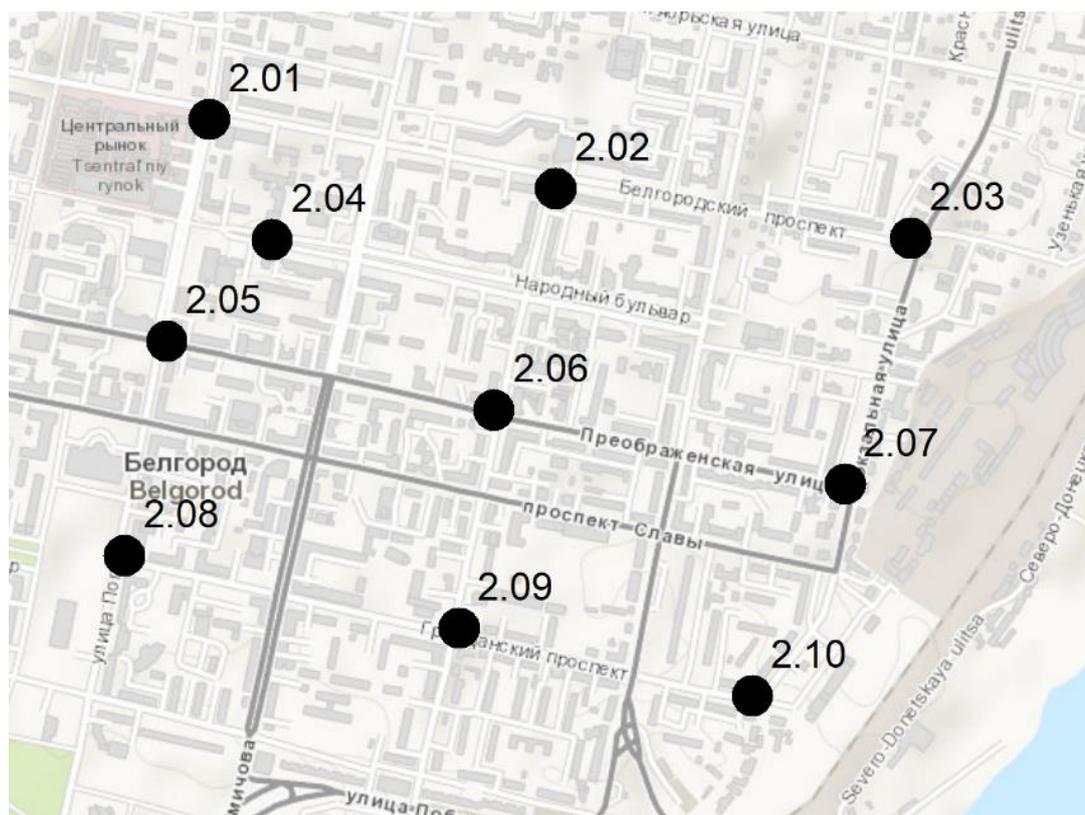


Рис. 6. Схема расположения пунктов наблюдений на ключевом участке №2

Таблица 2

Пункты наблюдений на ключевом участке №2 (центральная часть города)

№ пункта	Положение пункта на пересечении автомобильных дорог
2.01	просп. Белгородский - ул. Попова
2.02	просп. Белгородский - ул. Князя Трубецкого
2.03	просп. Белгородский - ул. Вокзальная
2.05	ул. Преображенская - ул. Попова
2.06	ул. Преображенская - ул. Князя Трубецкого
2.07	ул. Преображенская - ул. Вокзальная
2.08	ул. Попова - просп. Гражданский
2.09	просп. Гражданский - ул. Князя Трубецкого
2.10	просп. Гражданский - ул. Вокзальная
Дополнительные пункты	
2.04	В парковой зоне, для получения фоновых концентраций

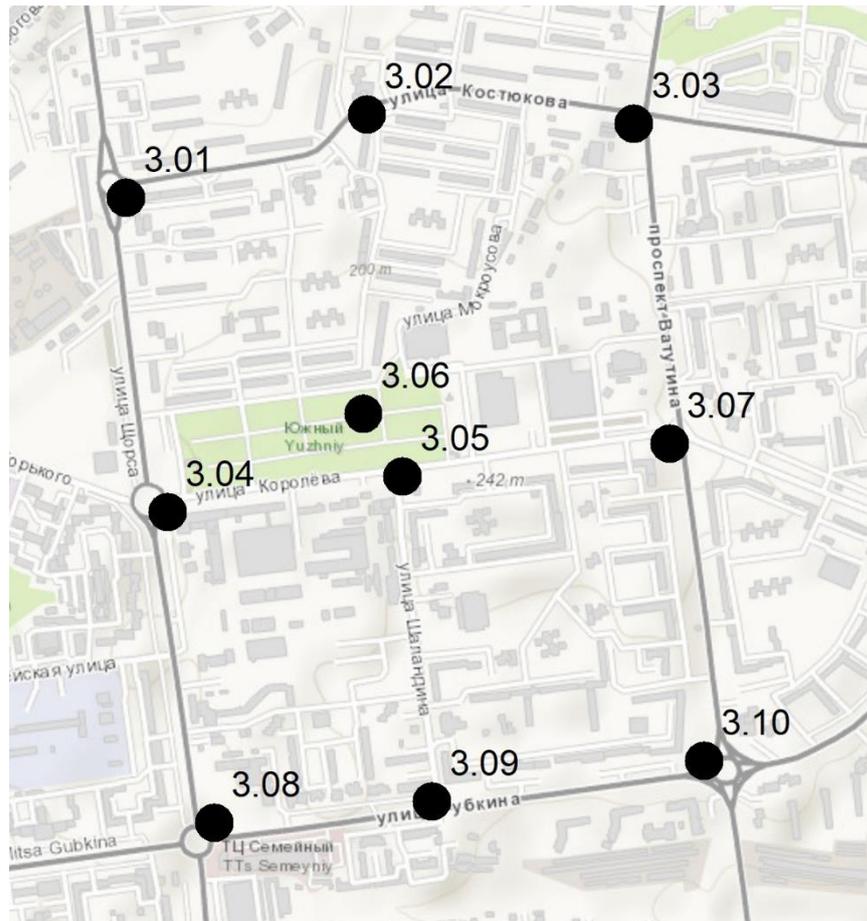


Рис. 7. Схема расположения пунктов наблюдений на ключевом участке №3

Таблица 3

Пункты наблюдений на ключевом участке №3 (южная часть города)

№ пункта	Положение пункта на пересечении автомобильных дорог
3.01	ул. Щорса - ул. Костюкова
3.02	пересечение отсутствует, на ул. Костюкова
3.03	ул. Костюкова - просп. Ватутина
3.04	ул. Королева - ул. Щорса
3.05	ул. Королева - ул. Шаландина
3.07	просп. Ватутина - ул. Королева
3.08	ул. Губкина - ул. Щорса
3.09	ул. Губкина - ул. Шаландина
3.10	ул. Губкина - просп. Ватутина
Дополнительные пункты	
3.06	В парковой зоне, для получения фоновых концентраций

Наблюдения за уровнем загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха проводились в весенне-летний и осенний период 2017 года. За этот промежуток времени на каждом из ключевых участков наблюдения были проведены в 13-кратной повторности в утреннее и дневное время.

3.2. Анализ полученных данных

Для каждого пункта наблюдений были сформированы диаграммы, показывающие особенности состояния загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха. На каждой диаграмме, помимо значений концентраций в пункте наблюдений, также указано фоновое значение и оценочное значение, рассчитанное по формуле для оценки концентрации окиси углерода (Бегма и др., 1984; Шаповалов, 1990) [20]:

$$K = (0,5 + 0,01N \times K_T) \times K_A \times K_V \times K_C \times K_B \times K_{II},$$

где $0,5$ – фоновое загрязнение атмосферного воздуха нетранспортного происхождения, $\text{мг}/\text{м}^3$; N – суммарная интенсивность движения автомобилей на городской дороге, автомобилей в час; K_T – коэффициент токсичности автомобилей по выбросам в атмосферный воздух окиси углерода; K_A – коэффициент, учитывающий аэрацию местности; K_V – коэффициент, учитывающий изменение загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода в зависимости от величины продольного уклона; K_C – коэффициент, учитывающий изменения концентрации углерода в зависимости от скорости ветра; K_B – коэффициент, учитывающий изменения концентрации углерода в зависимости от относительной влажности воздуха; K_{II} – коэффициент, увеличения загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода у пересечений.

Данная формула в сокращенном виде была также применена для расчета оценочного содержания других исследуемых загрязнителей приземного слоя атмосферного воздуха – оксида азота, диоксида азота, соединений свинца и пыли неорганической.

Суммарная интенсивность движения автомобилей (N) вблизи пунктов наблюдений рассчитана, исходя из усредненного значения суммарной

интенсивности движения автомобилей для участков дорог, пересекающихся вблизи каждого из пунктов наблюдений по данным картограммы [15].

Степени корреляции значений содержания исследуемых загрязняющих веществ в пунктах наблюдений с оценочными значениями в данных пунктах для всех ключевых участков представлена в таблице 4. Из представленных коэффициентов корреляции достоверны коэффициенты $R \geq 0,48$ (ключевые участки №1, №2) и $R \geq 0,46$ (ключевой участок №3) при уровне значимости $\alpha=0,10$ при данных объемах корреляционных рядов [11].

Таблица 4

Степень корреляции между значениями содержания загрязняющих веществ в пунктах наблюдений и оценочными значениями

Пункт наблюдений	СО	NO	NO ₂	Pb	Пыль
1.01	0,37	0,81	0,88	0,53	0,9
1.02	0,09	-0,01	-0,05	0,68	0,2
1.04	0,59	0,67	0,01	0,55	0,1
1.05	0,44	0,4	-0,29	0,34	-0,22
1.07	0,75	0,07	-0,18	0,58	0,78
1.09	0,91	-0,01	0,49	0,2	0,06
1.10	0,77	0,33	0,2	0,32	0,83
1.11	0,68	0,25	-0,19	0,11	-0,4
1.12	0,5	0,55	-0,63	0,2	-0,11
2.01	-0,09	0,35	0,51	0,01	-0,01
2.02	0,31	-0,16	-0,53	0,24	-0,22
2.03	-0,27	-0,28	-0,14	-0,2	-0,15
2.05	0,54	-0,31	0,33	0,58	-0,22
2.06	0,09	0,61	0,38	0,22	0,63
2.07	-0,07	0,08	-0,29	0,22	0,23
2.08	0,29	-0,07	0,08	0,33	-0,16
2.09	0,59	0,46	-0,48	0,38	0,19
2.10	0,18	0,45	0,09	-0,11	-0,27
3.01	0,28	0,6	0,64	0,74	0,56
3.02	0,35	0,48	0,57	0,69	0,26
3.03	0,19	0,29	0,06	0,13	-0,04
3.04	0,28	0,62	0,4	0,78	0,55
3.05	0,14	-0,11	0,27	0,24	0,25
3.07	0,27	0,48	0,02	0,46	0,28
3.08	0,6	0,33	0,51	0,39	0,19
3.09	0,39	-0,01	-0,11	0,3	-0,3
3.10	0,02	0,17	0,41	0,46	0,27

3.2.1. Ключевой участок в северной части города (№1)

Изменение содержания оксида углерода (СО) в приземном слое атмосферного воздуха в основных пунктах ключевого участка №1 представлено на рисунках 8-10. Число достоверных коэффициентов корреляции (R) между значениями содержания СО в пунктах наблюдений и оценочными значениями – 6 (0,66 % от общего числа). Сила корреляционных связей среди достоверных коэффициентов корреляции варьируется от средней до очень высокой.

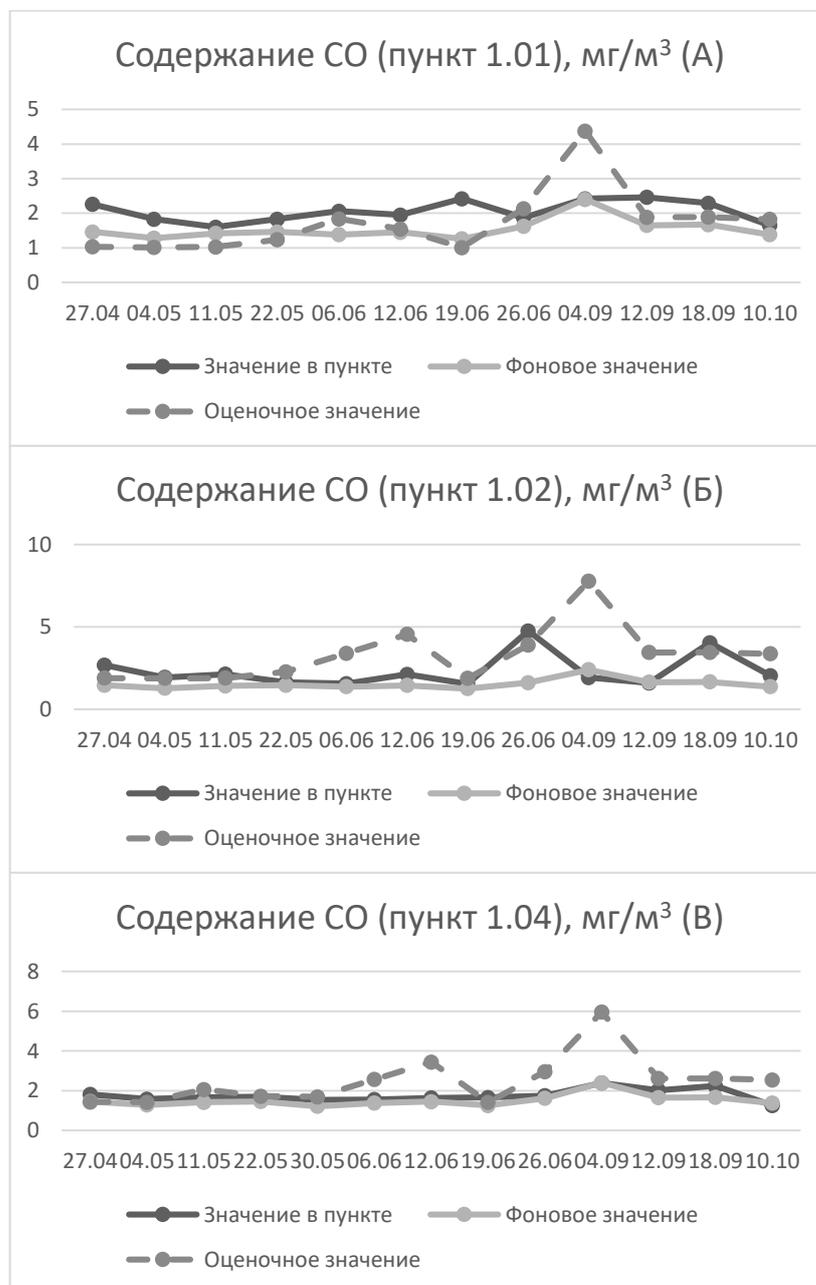


Рис. 8 а-в. Содержание СО (пункты 1.01, 1.02, 1.04)

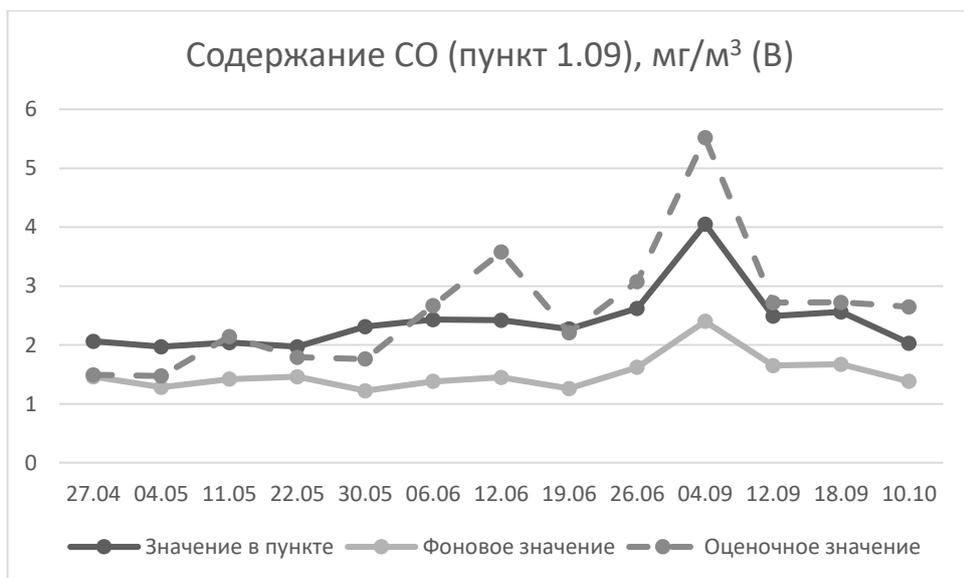
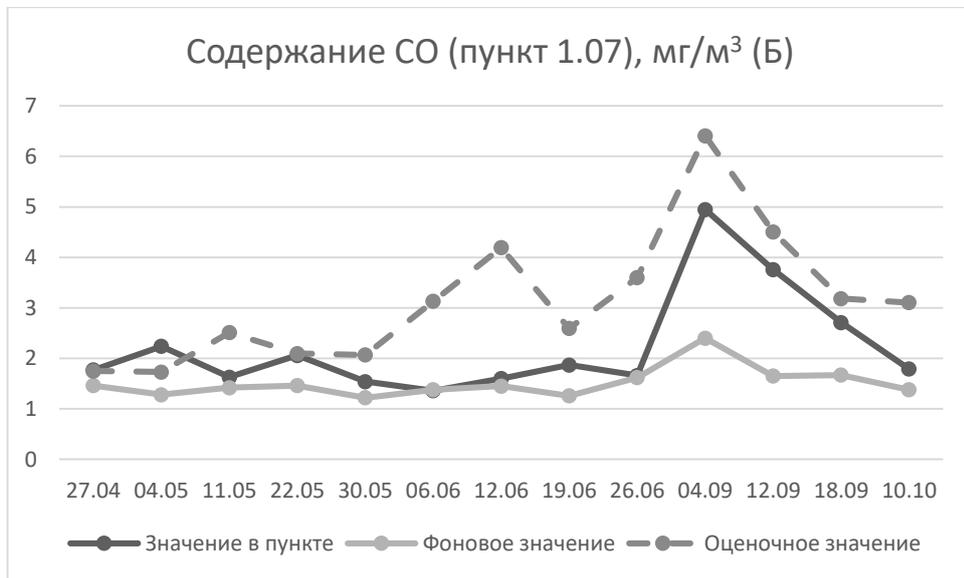
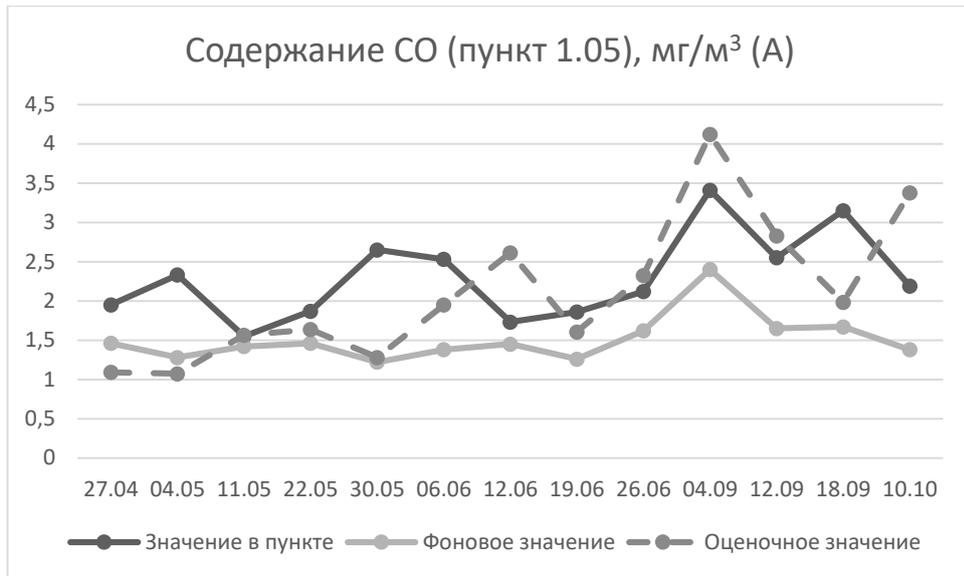


Рис. 9 а-в. Содержание CO (пункты 1.05, 1.07, 1.09)

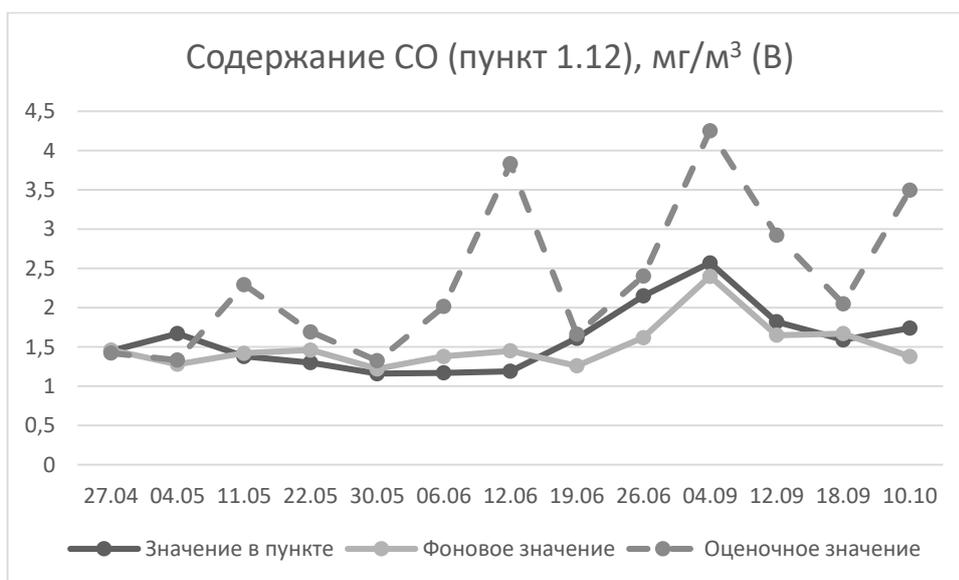
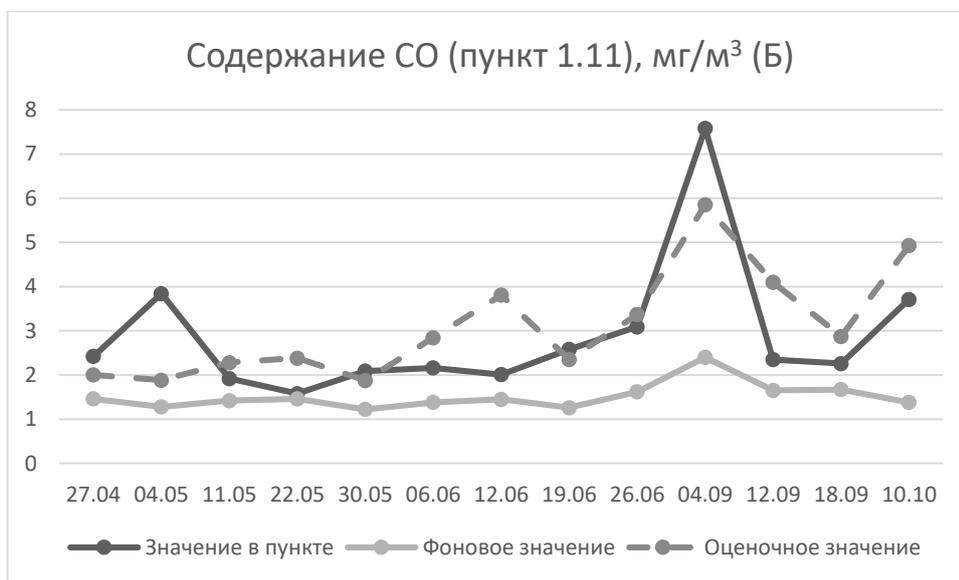
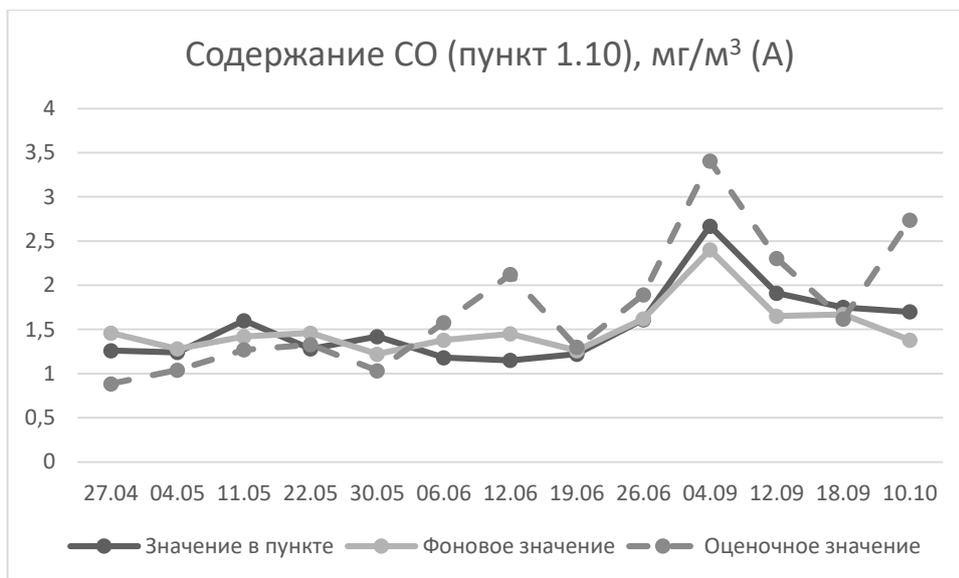


Рис. 10 а-в. Содержание CO (пункты 1.10, 1.11, 1.12)

Относительно данных, представленных на рисунках 8-10, можно сказать следующее:

1. Наименьшие колебания уровня содержания СО наблюдаются в пункте 1.04 (пересечение ул. Садовая – ул. Железнякава). Это можно объяснить тем, что в наибольшее число дней, когда проводились наблюдения, скорость ветра (более 3 м/с) и относительная влажность воздуха (не более 40%) не способствовали накоплению оксида углерода вблизи данного пункта наблюдений.

2. Наибольшие колебания уровня содержания СО наблюдаются в пунктах 1.05 (пересечение ул. Мичурина - ул. Студенческая) и 1.11 (пересечение ул. Мичурина – просп. Богдана Хмельницкого). Особенностью пункта 1.05 является то, что он располагается рядом с перекрестком с интенсивным движением грузового автотранспорта, также можно предположить о наличии мгновенных локальных изменениях скорости и направления ветра во время проведения наблюдений в данном пункте, так как он располагается на достаточно открытом участке местности. Относительно пункта 1.11 можно сказать, что высокая автотранспортная нагрузка (около 1442 единиц автотранспорта в час) в сочетании с неблагоприятными метеорологическими условиями (НМУ) для рассеивания загрязняющих веществ, которые наблюдались 04.09.2017 (высокая относительная влажность атмосферного воздуха) способствовали резкому повышению уровня содержания СО в приземном слое атмосферного воздуха до 7,58 мг/м³ при ПДК равном 5 мг/м³.

3. Относительно остальных пунктов наблюдений можно сказать, что для большинства из них также характерен пик высокого содержания СО, приходящийся на 04.09.2017 (1.07, 1.09, 1.10, 1.12), однако для пунктов 1.01 и 1.02 такой особенности не наблюдается, что может быть связано с наличием мгновенных локальных изменений скорости и направления ветра во время проведения наблюдений в данных пунктах.

Принимая во внимание усредненные значения содержания СО в пунктах наблюдений (рис. 11) за весь период наблюдений, можно выделить пункты с

наименьшим усредненным содержанием СО в приземном слое атмосферного воздуха – 1.04, 1.10, 1.12, и наибольшим – 1.02, 1.05, 1.07, 1.09, 1.11. Это связано с тем, что пункты 1.02, 1.05, 1.07, 1.09, 1.11 располагаются вдоль просп. Богдана Хмельницкого и ул. Студенческой, которые отличаются сравнительно высокой транспортной загруженностью по сравнению с дорогами, находящимися на периферии, где располагаются, в частности, пункты 1.04, 1.10, 1.12.

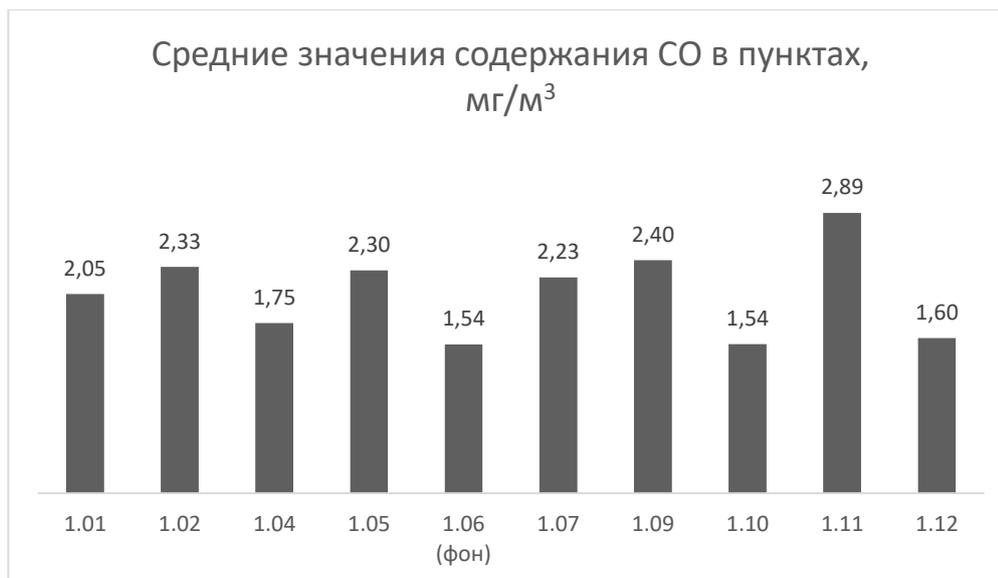


Рис. 11. Средние значения содержания СО в пунктах

Для получения дополнительных сведений о загрязнении приземного слоя атмосферного воздуха в пределах ключевого участка №1 были построены профили с использованием дополнительных пунктов, расположенных между перекрестками – 1.03 и 1.08, на основании данных, полученных 10.10.2017 (рис. 12). Исходя из полученных графиков можно было бы предположить, что существует зависимость между высотой пункта наблюдений и содержанием СО, так как коэффициенты корреляции (R) для рядов данных этих пунктов составляют 0,67 (профиль 1.02-1.04) и 0,40 (профиль 1.07-1.09), однако при уровне значимости $\alpha=0,10$ они не являются достоверными из-за малого объема данных.

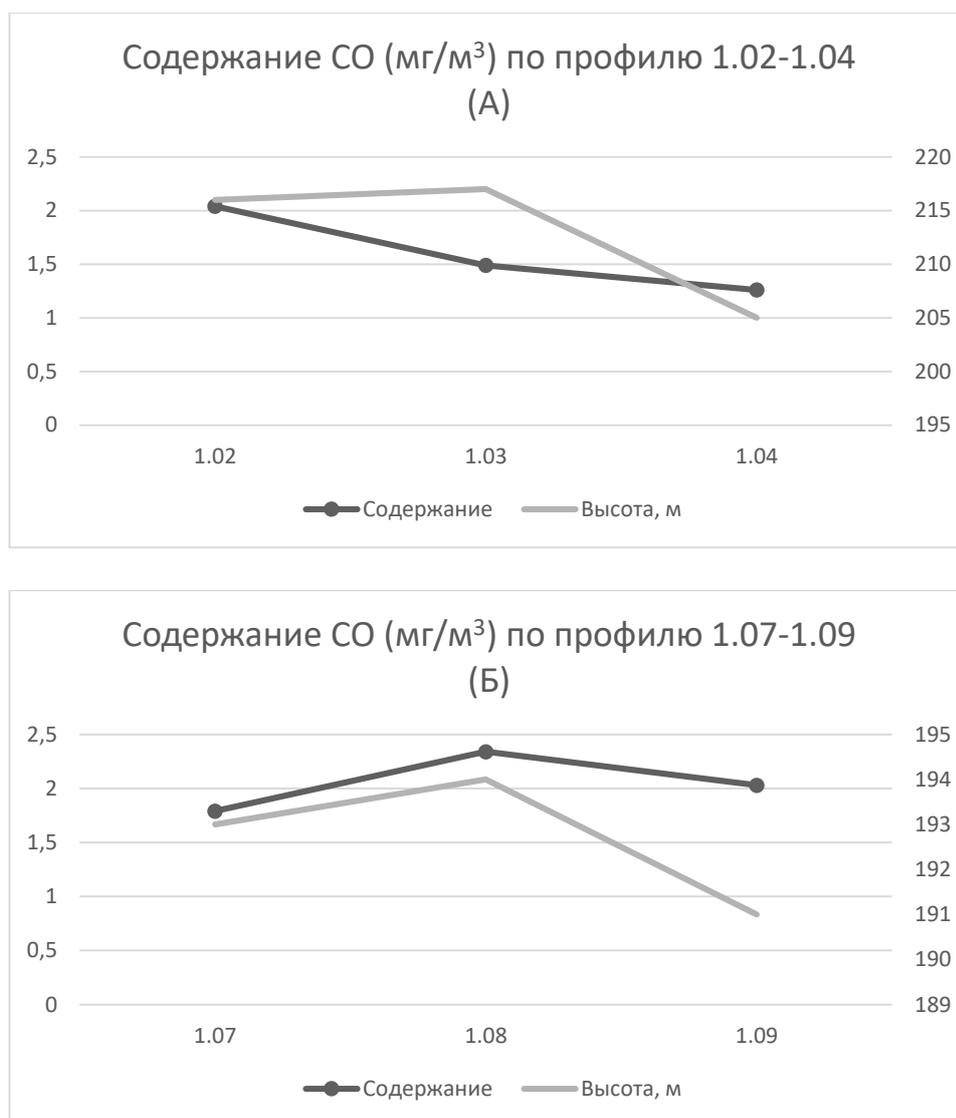


Рис. 12 а, б. Содержание CO по профилям 1.02-1.04 и 1.07-1.09

Таким образом, распределение содержания CO по профилю можно связать с расположением пунктов относительно автомобильных дорог и направлением ветра. Так, во время наблюдений 10.10.2017 наблюдался юго-западный ветер, в таких условиях пункты 1.02, 1.08, 1.09 оказались на наветренной стороне, 1.03, 1.04, 1.07 – на подветренной (согласно данным табл. 1). Согласно этому накопление CO происходило преимущественно с наветренных сторон относительно дорог.

Изменение содержания оксида азота (NO) в приземном слое атмосферного воздуха в основных пунктах ключевого участка №1 представлено на рисунках 13-15.

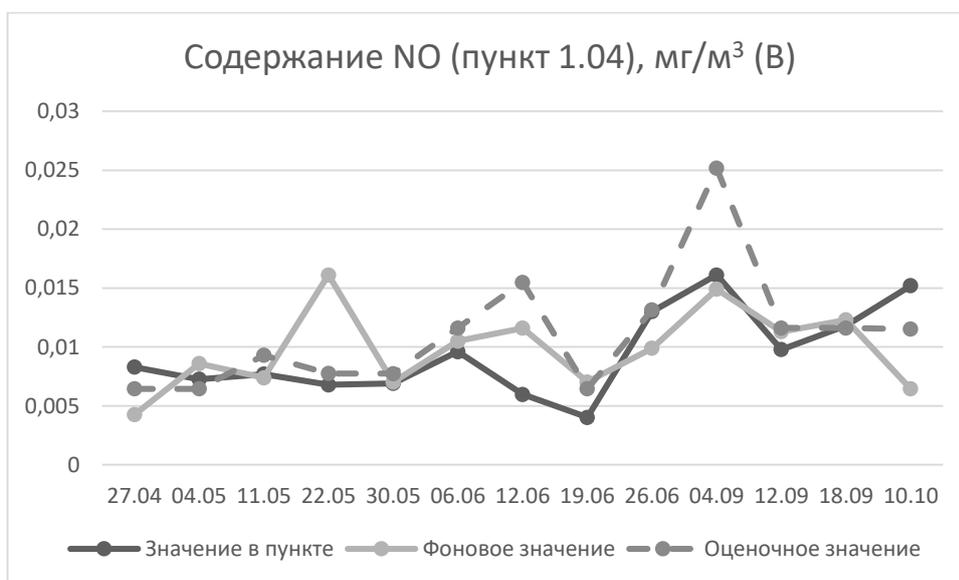
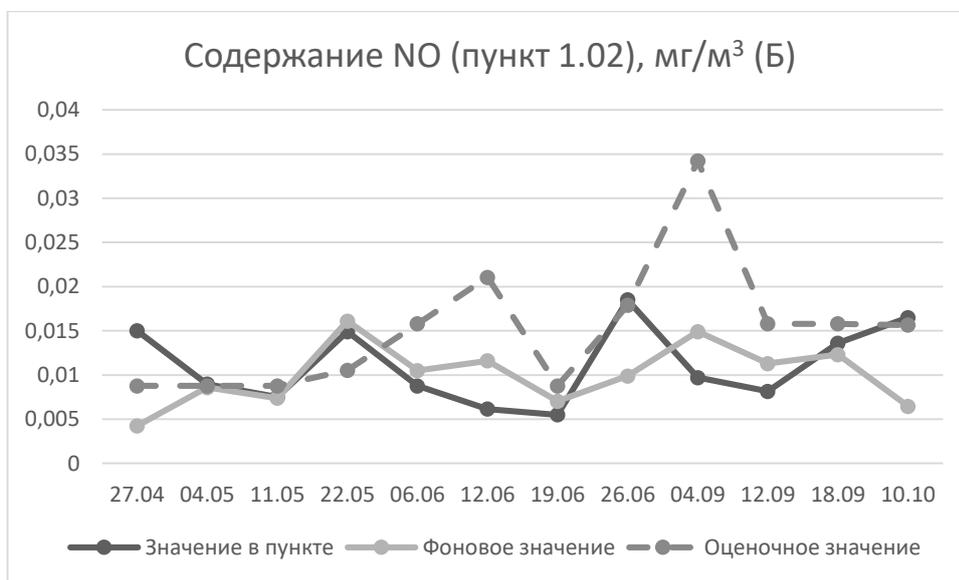
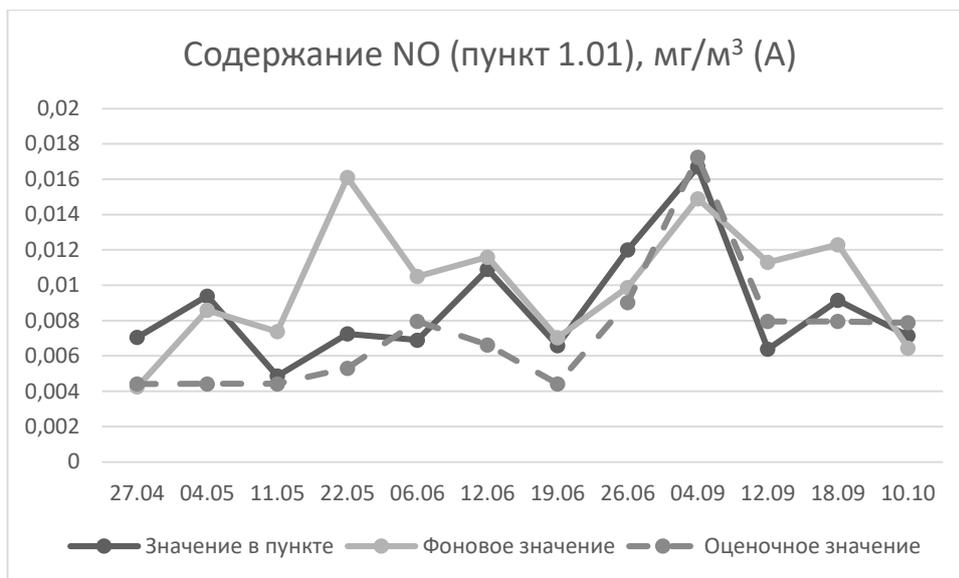


Рис. 13 а-в. Содержание NO (пункты 1.01, 1.02, 1.04)

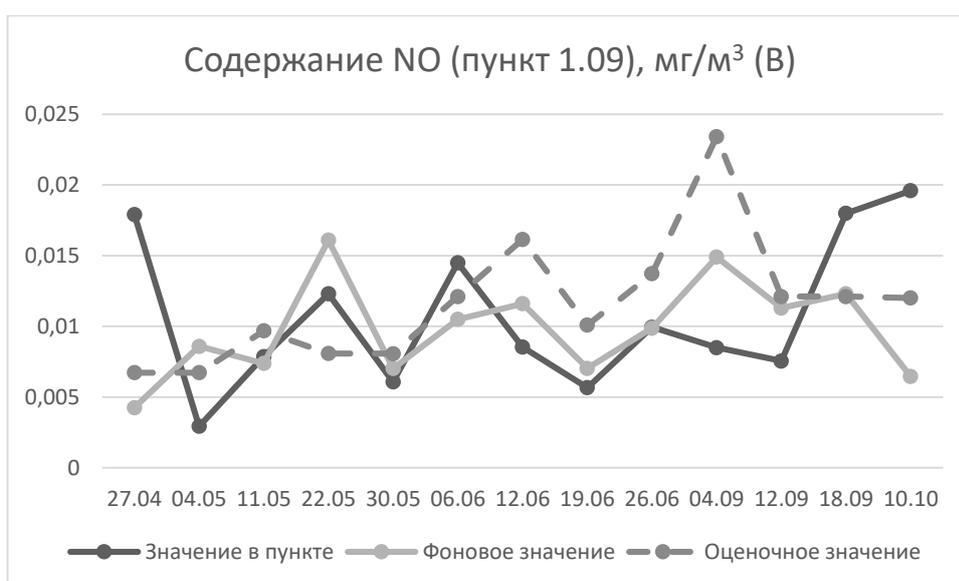
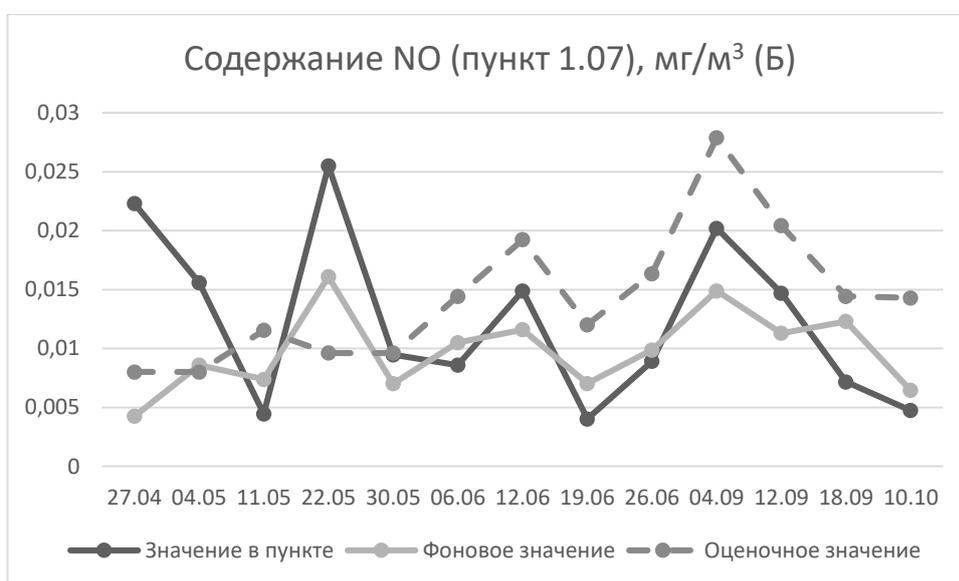
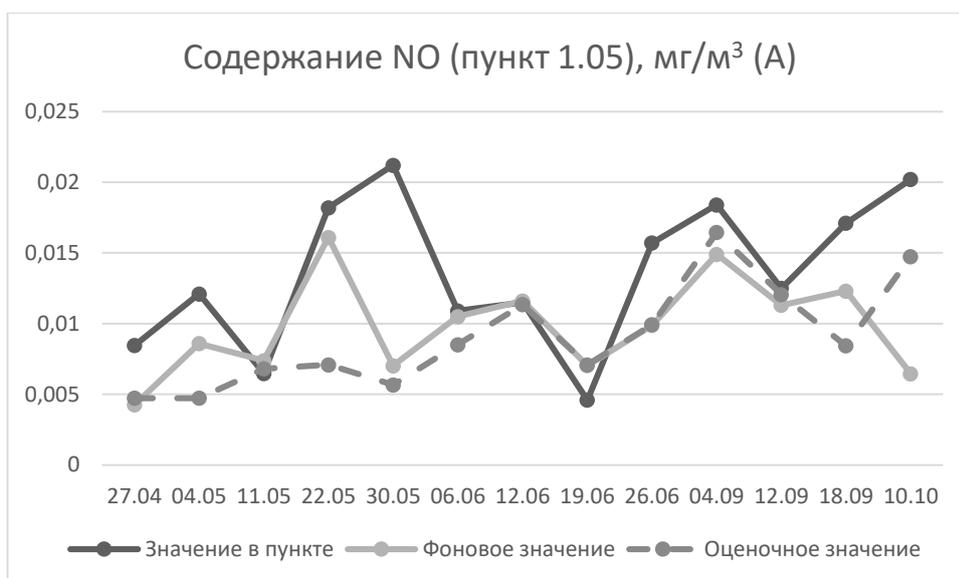


Рис. 14 а-в. Содержание NO (пункты 1.05, 1.07, 1.09)

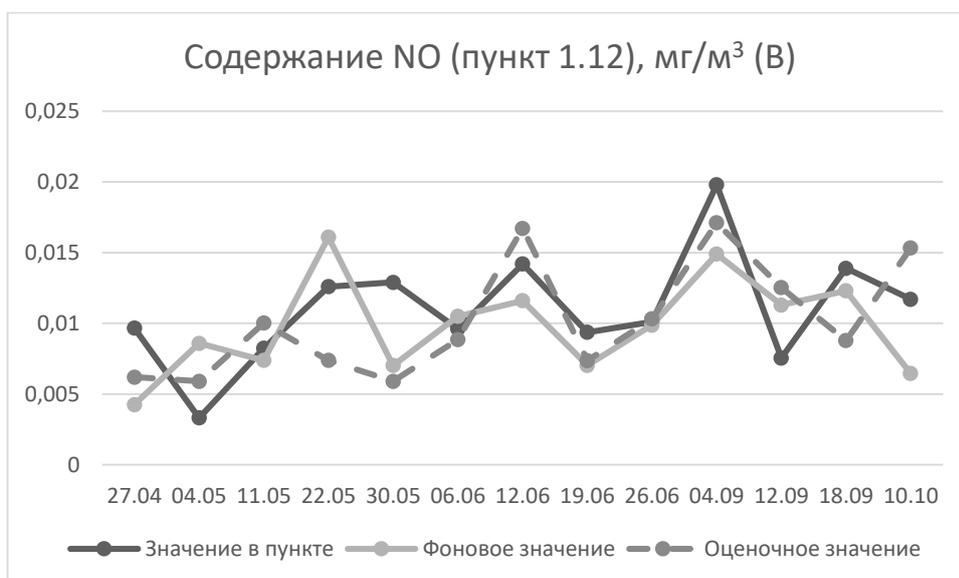
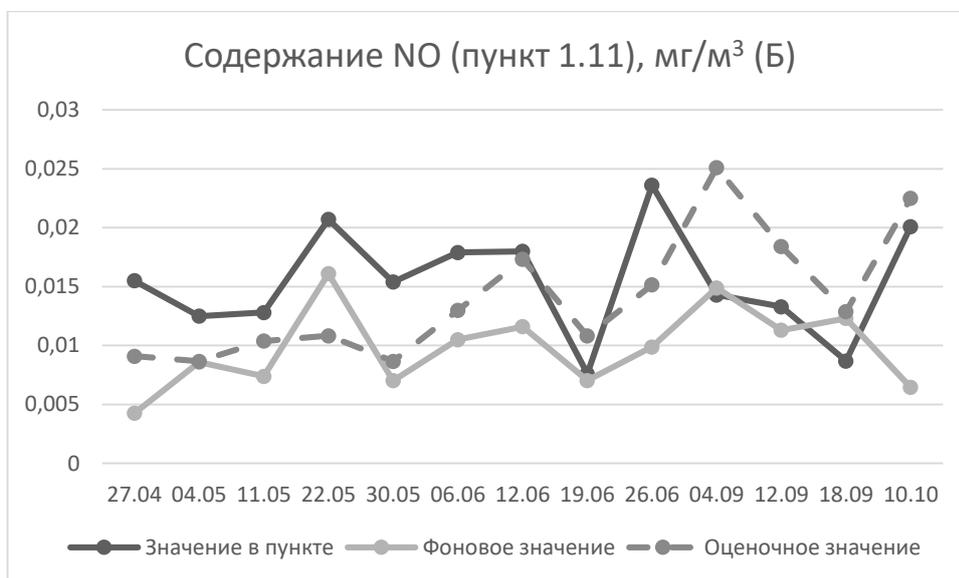
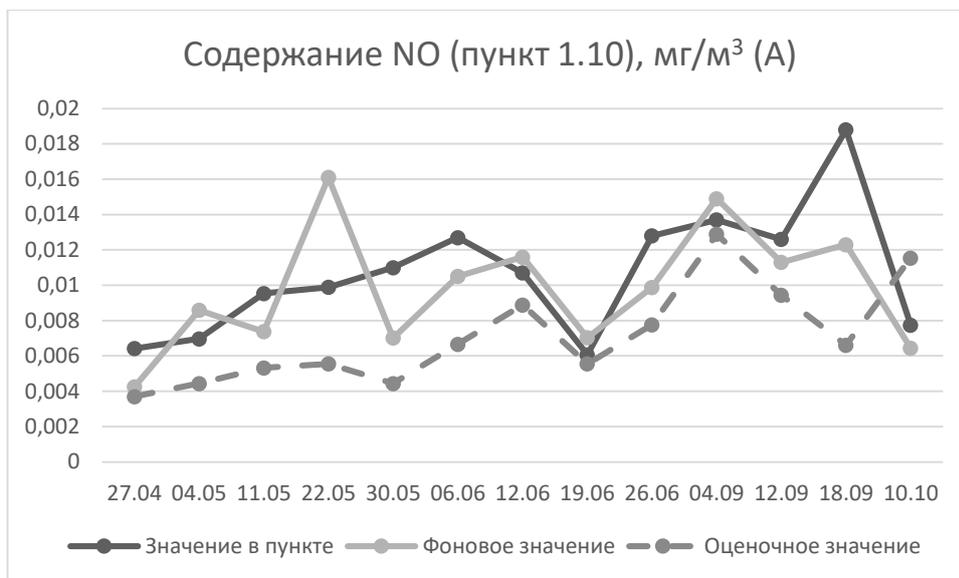


Рис. 15 а-в. Содержание NO (пункты 1.10, 1.11, 1.12)

Относительно данных, представленных на рисунках 13-15, можно сказать следующее:

1. В отличие от колебания уровня содержания СО в пунктах наблюдений, колебания уровня содержания NO во всех пунктах наблюдений ключевого участка №1 сильно изменяются в течение всего периода наблюдений. Также наблюдается такая ситуация: фоновое значение NO может превышать значение в пункте наблюдений (например, к ним относятся пункты 1.01, 1.09-1.12) в отдельные дни проведения наблюдений. Такой тенденции относительно фонового содержания СО не наблюдается.

2. Для пунктов 1.01, 1.05, 1.10, 1.12 во время наблюдений 04.09.2017 было характерно высокое содержание NO в приземном слое атмосферного воздуха, это можно объяснить расположением данных пунктов наблюдений – с наветренной стороны по отношению к восточному ветру, скорость которого (3-5 м/с) не способствовала рассеиванию NO. В тоже время для большинства пунктов наблюдений можно отметить наличие низкого уровня содержания NO 19.06.2017, это связано с тем, что в день проведения наблюдений скорость ветра достигала 6 м/с.

3. Невысокий коэффициент корреляции фактических и оценочных значений в пункте 1.07 (составляет 0,07) обусловлен тем, что ряд значений с 27.04.2017 по 30.05.2017 представлен колебаниями уровня содержания NO с высокой амплитудой, однако после этой даты коэффициент корреляции, если не принимать в расчет вышеуказанные значения, составляет 0,96. Это можно объяснить тем, что пункт 1.07 находится на достаточно открытом месте вблизи перекрестка с высокой степенью загруженности автотранспортными потоками, которые влияют на содержание NO в приземном слое атмосферного воздуха.

Как видно из рисунка 16, пункты с наибольшими средними значениями содержания NO – 1.05, 1.07, 1.11.

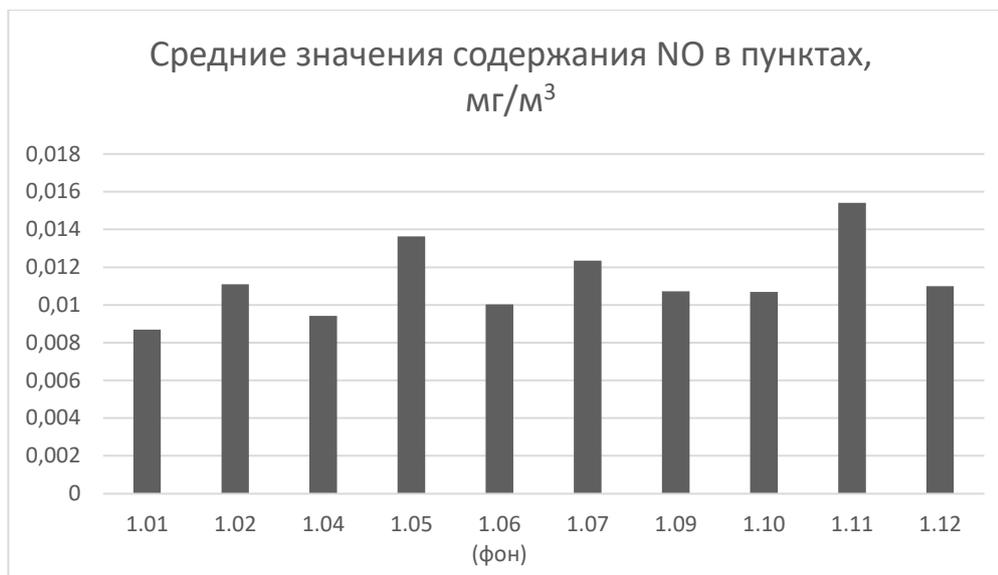


Рис. 16. Средние значения содержания NO в пунктах

Рис. 17 показывает распределение содержания NO по профилям на основании данных, полученных 10.10.2017. Как и в случае с CO (рис. 12), большая корреляция с данными высот прослеживается у профиля 1.02-1.04 и составляет 0,93, однако, при уровне значимости $\alpha=0,10$ значение не является достоверным из-за малого объема данных.

Корреляция между значениями в пунктах и оценочными значениями содержания NO₂ (табл. 6) показывает то, что моделирование, применяемое в данном исследовании, менее подходит для получения оценочных значений NO₂, так как для большинства пунктов наблюдений корреляция отрицательна.

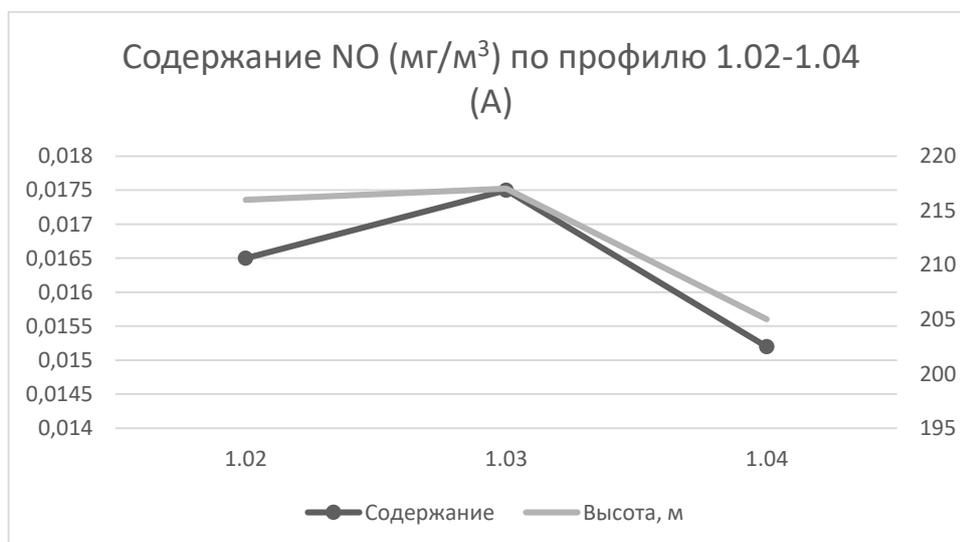


Рис. 17 а. Содержание NO по профилю 1.02-1.04

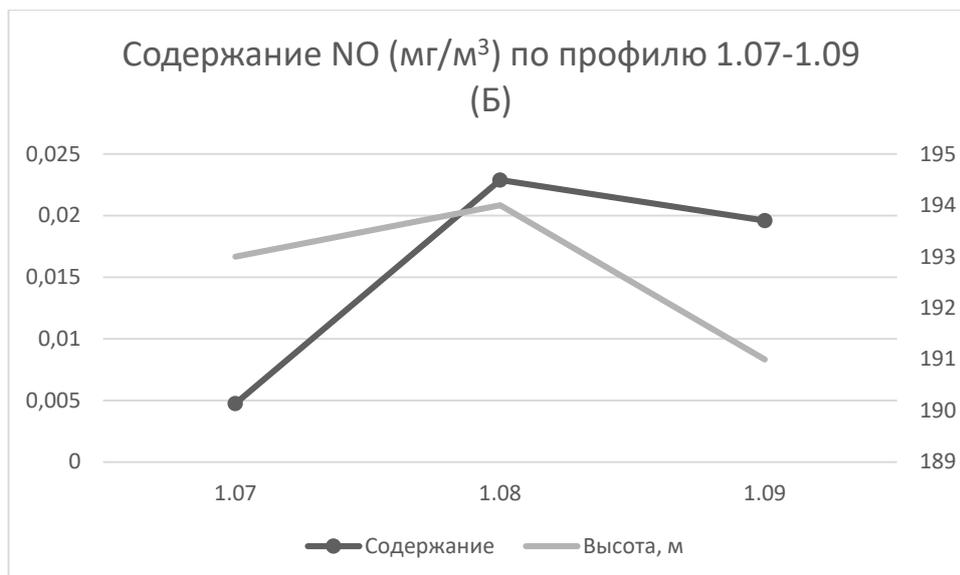


Рис. 17 б. Содержание NO по профилю 1.07-1.09

При данных объемах корреляционных рядов при уровне значимости $\alpha=0,10$ достоверными являются коэффициенты $R \geq 0,48$, как было указано ранее, из представленных коэффициентов корреляции достоверны относящиеся к пунктам 1.01, 1.09, 1.12.

Изменение содержания диоксида азота (NO_2) в приземном слое атмосферного воздуха в основных пунктах ключевого участка №1 представлено на рисунках 18-20.

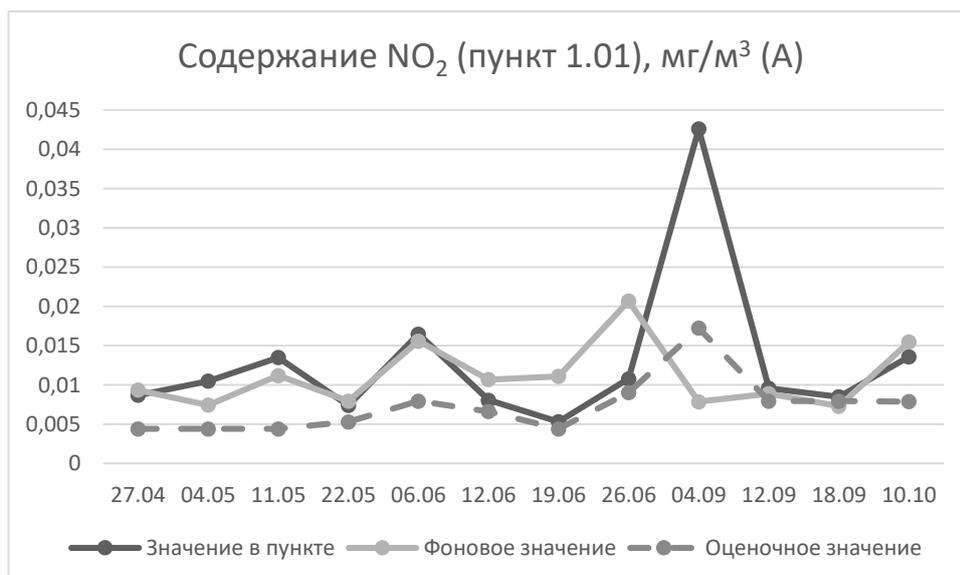
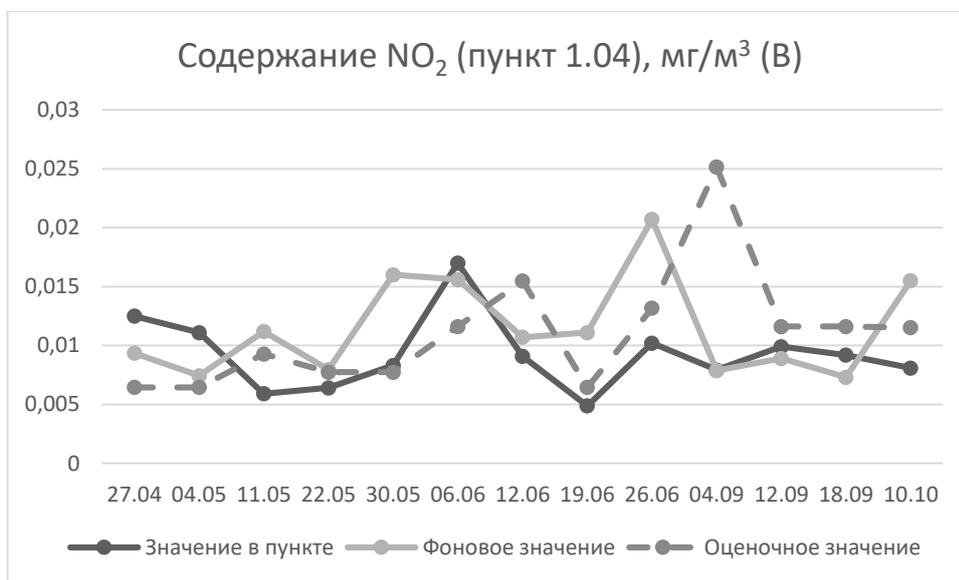
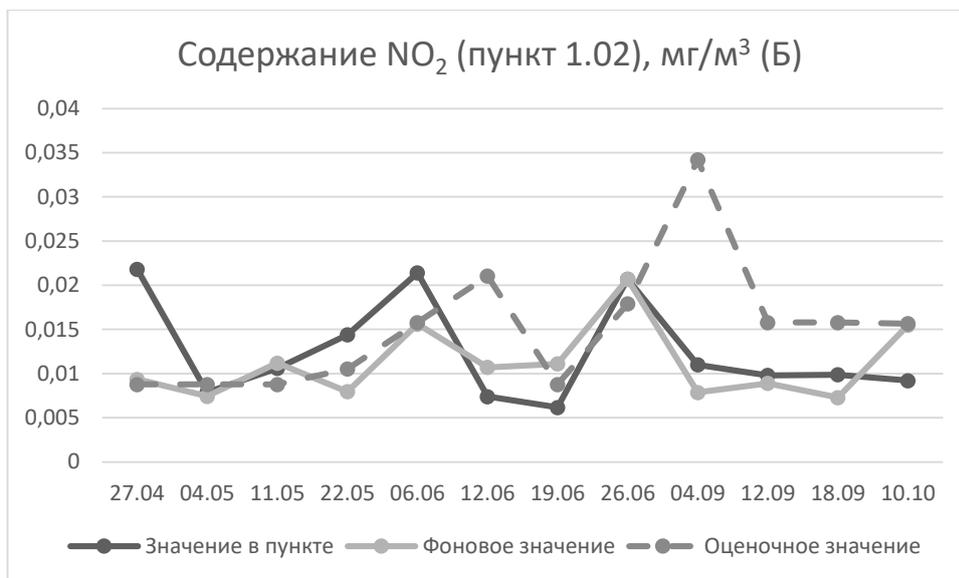
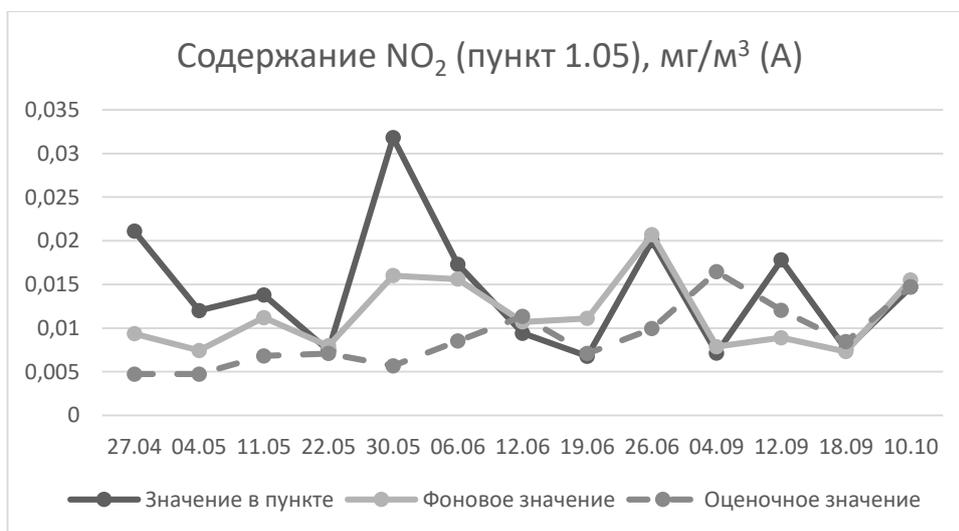
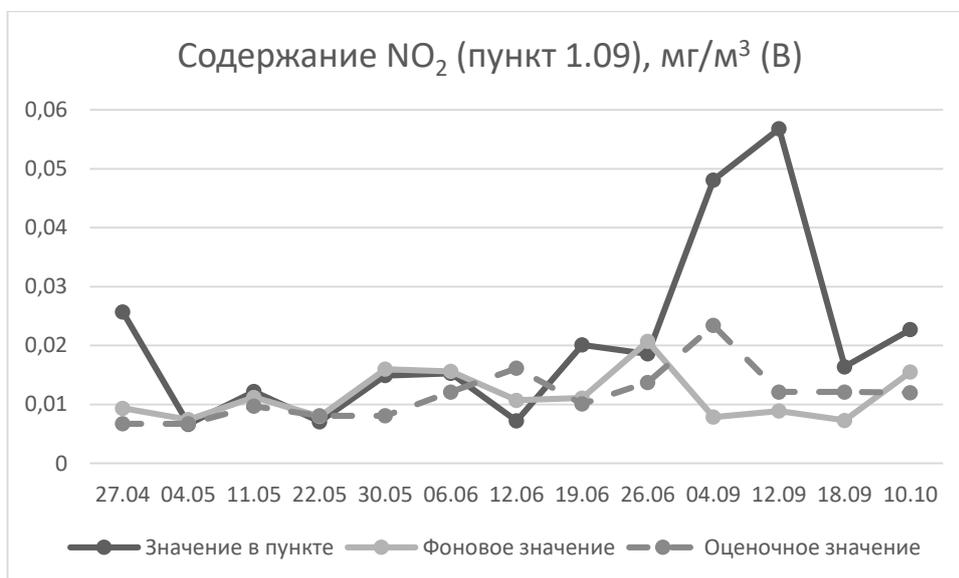
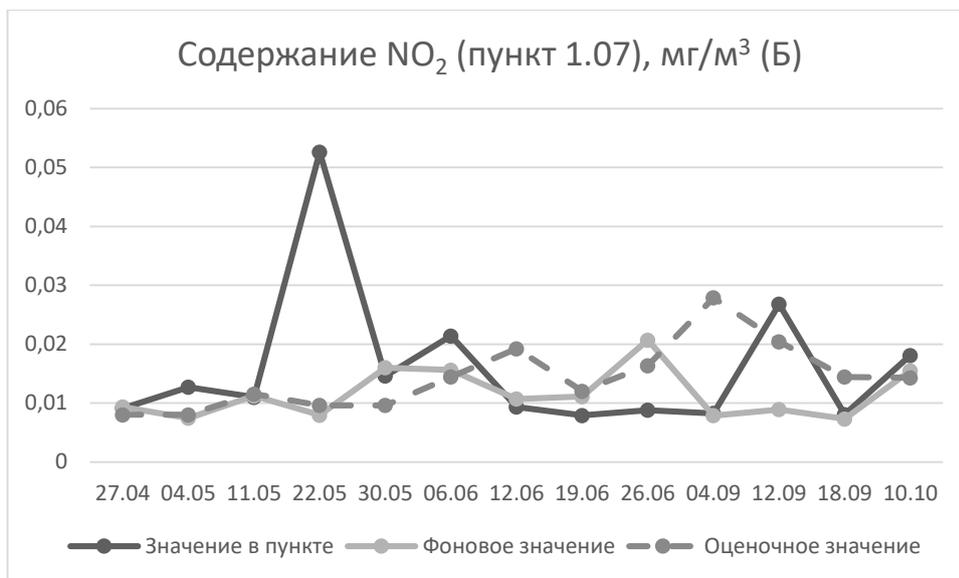
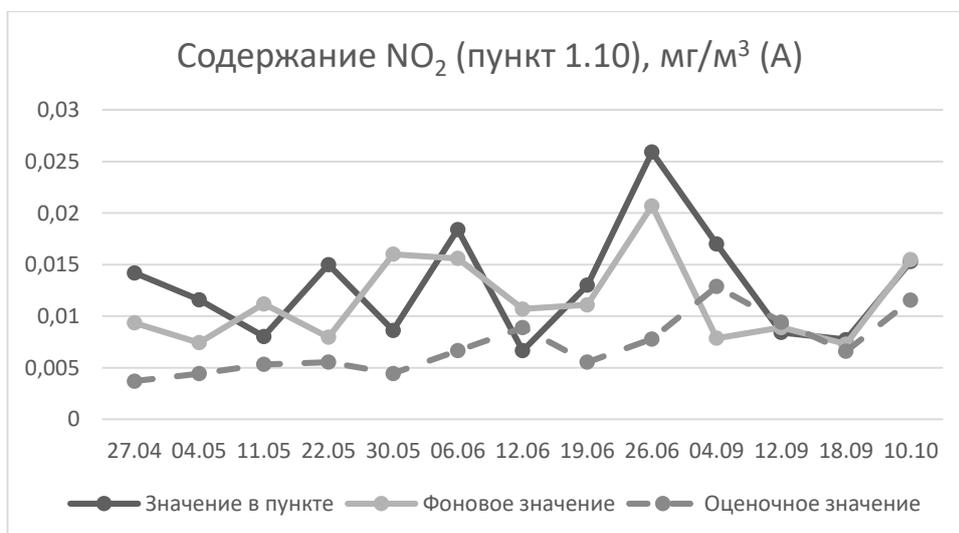


Рис. 18 а. Содержание NO_2 (пункт 1.01)

Рис. 18 б, в. Содержание NO₂ (пункты 1.02, 1.04)Рис. 19 а. Содержание NO₂ (пункт 1.05)

Рис. 19 б, в. Содержание NO₂ (пункты 1.07, 1.09)Рис. 20 а. Содержание NO₂ (пункт 1.10)

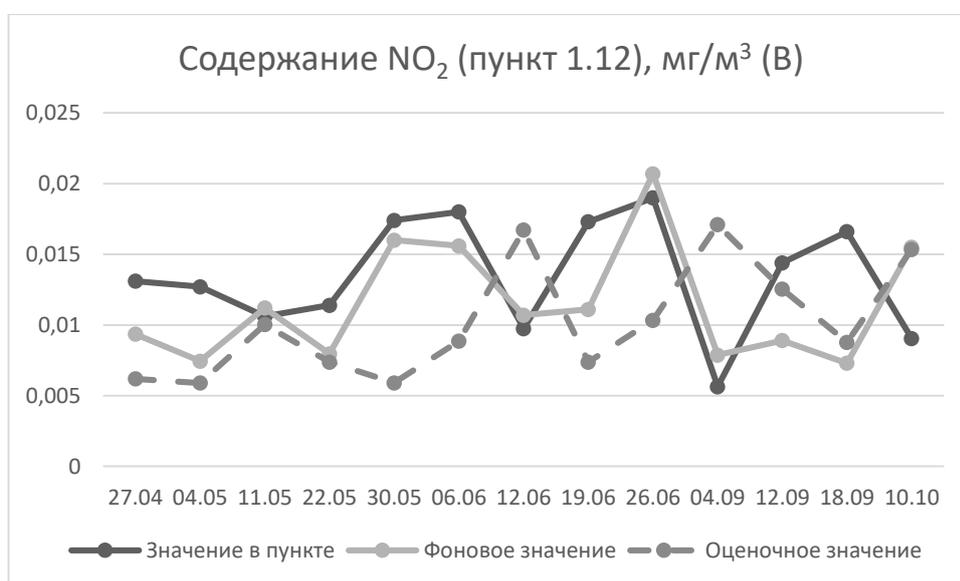
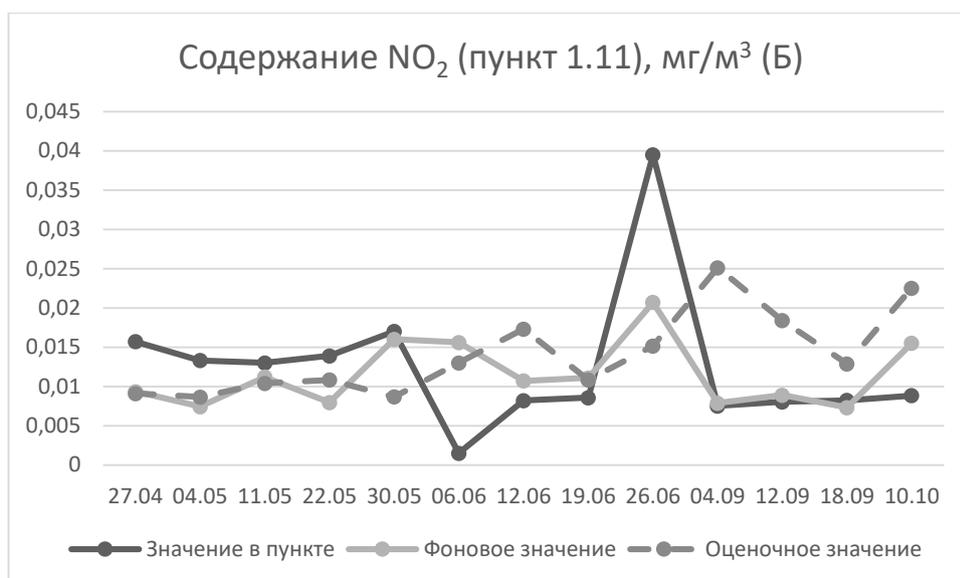


Рис. 20 б, в. Содержание NO₂ (пункты 1.11, 1.12)

Относительно данных, представленных на рисунках 18-20, можно сказать следующее:

1. Характер изменения уровня содержания NO₂ в приземном слое атмосферного воздуха ключевого участка №1 схож характером изменения уровня содержания NO – присутствуют резкие колебания уровня содержания NO₂.

2. Присутствуют ярко выраженные пиковые значения, например, 22.05.2017 – в пункте 1.07, 30.05.2017 – 1.05, 26.06.2017 – 1.10, 1.11, 04.09.2017 – 1.01, 1.09. Так, для пунктов 1.01, 1.10, 1.11 они связаны с более высокими

уровнями относительной влажности по сравнению с другими днями для наблюдений, а для пунктов 1.05, 1.07, 1.09 такой взаимосвязи не наблюдается, и эти пиковые значения скорее всего связаны с мгновенным изменением скорости и направления ветра.

3. Корреляционные связи между значениями содержания NO и NO₂ (табл. 7) показывают наличие в отдельных пунктах средней связи, в остальных – связей слабой положительной и слабой отрицательной.

Таблица 7

Корреляционные связи между значениями содержания NO и NO₂

Номер пункта наблюдений	Коэффициент корреляции (R)
1.01	0,70
1.02	0,54
1.04	0,16
1.05	0,21
1.07	0,46
1.09	0,0002
1.10	-0,02
1.11	0,48
1.12	-0,40

Как видно из рисунка 21, пункты с наибольшими средними значениями содержания NO₂ – 1.05, 1.07, 1.09. Как и в случае с NO (рис. 16), выделяются пункты 1.05, 1.07.

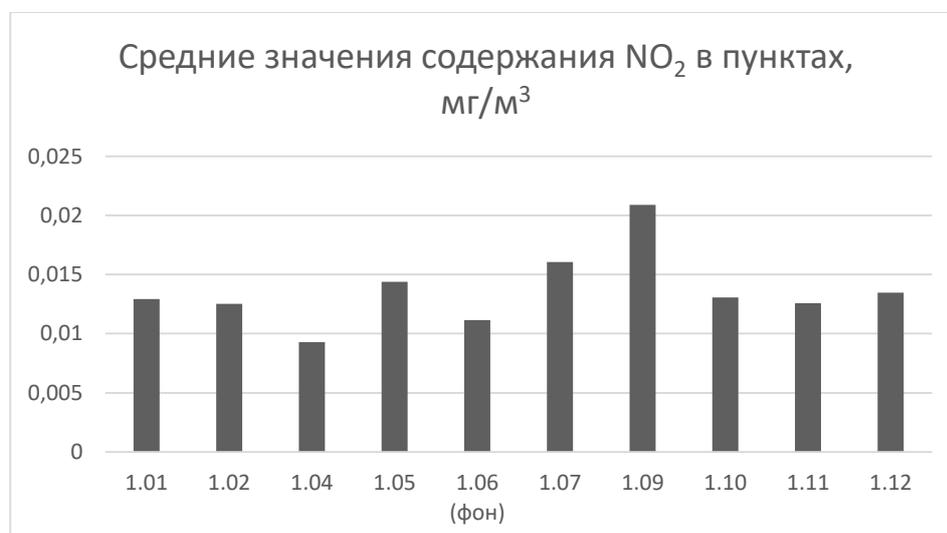
Рис. 21. Средние значения содержания NO₂ в пунктах

Рисунок 22 показывает распределение содержания NO_2 по профилям 1.02-1.04 и 1.07-1.09 на основании данных, полученных 10.10.2017, и коэффициент корреляции с данными высот составляет 0,67 и -0,92 соответственно (значения не достоверны из-за малого объема данных).

Сила коэффициента корреляции варьируется от очень слабой до средней, что позволяет сказать, что моделирование, применяемое в данном исследовании, в незначительной степени подходит для получения ориентировочных оценочных значений содержания соединений свинца.

Относительно данных, представленных на рисунках 23-25, можно сказать следующее:

1. Для графиков содержания Рв в пунктах 1.01, 1.02, 1.04 (рис. 23) наблюдается сходство во временном распределении содержания соединений свинца в приземном слое атмосферного воздуха. Характерен низкий уровень содержания Рв 19.06.2017, обусловленный низким уровнем относительной влажности атмосферного воздуха (25%) и высокой скоростью ветра (6 м/с).

Для пунктов 1.01, 1.04 характерно также наличие минимума 22.05.2017 при относительной влажности воздуха 50% и скорости ветра 7 м/с.

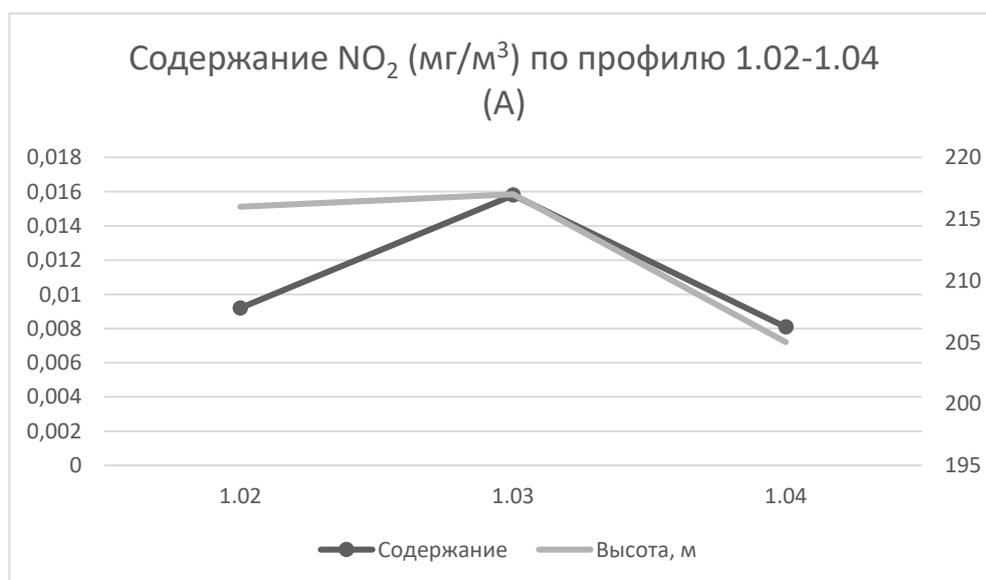


Рис. 22 а. Содержание NO_2 по профилю 1.02-1.04

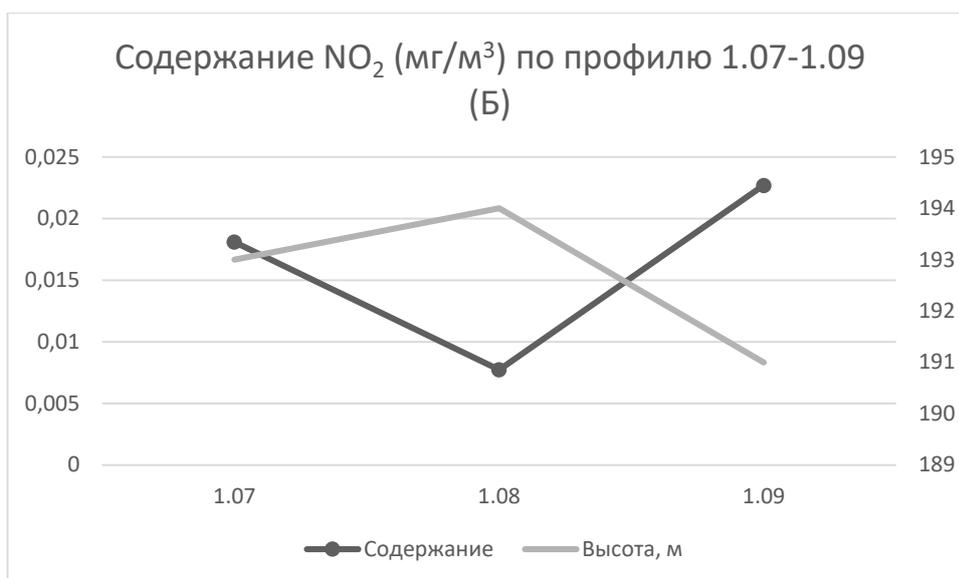
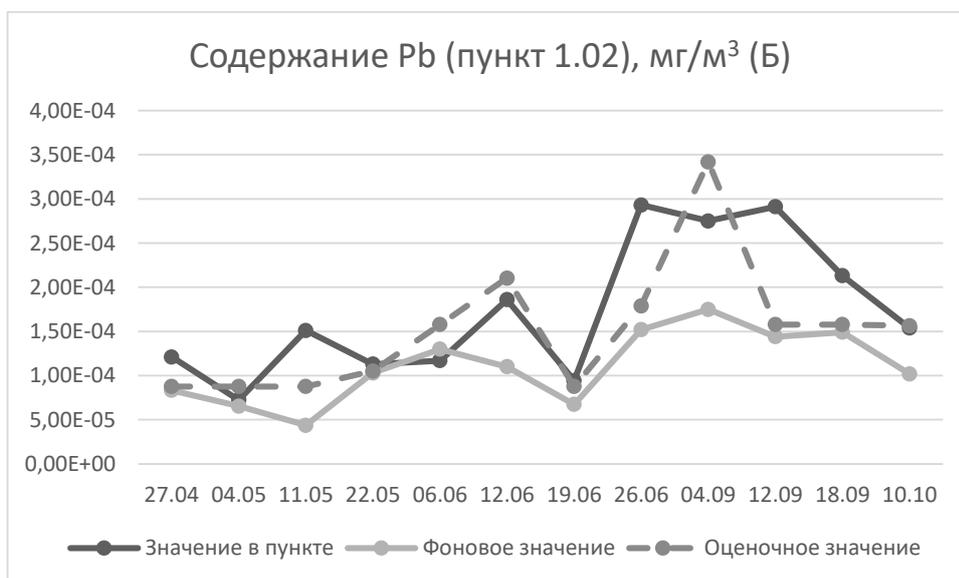
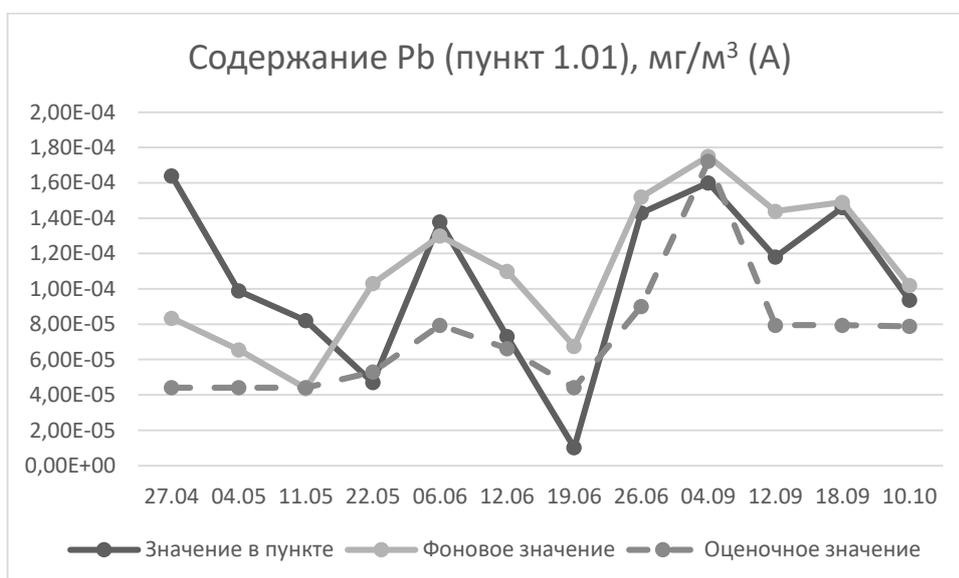
Рис. 22 б. Содержание NO₂ по профилю 1.07-1.09

Рис. 23 а, б. Содержание Pb (пункты 1.01, 1.02)

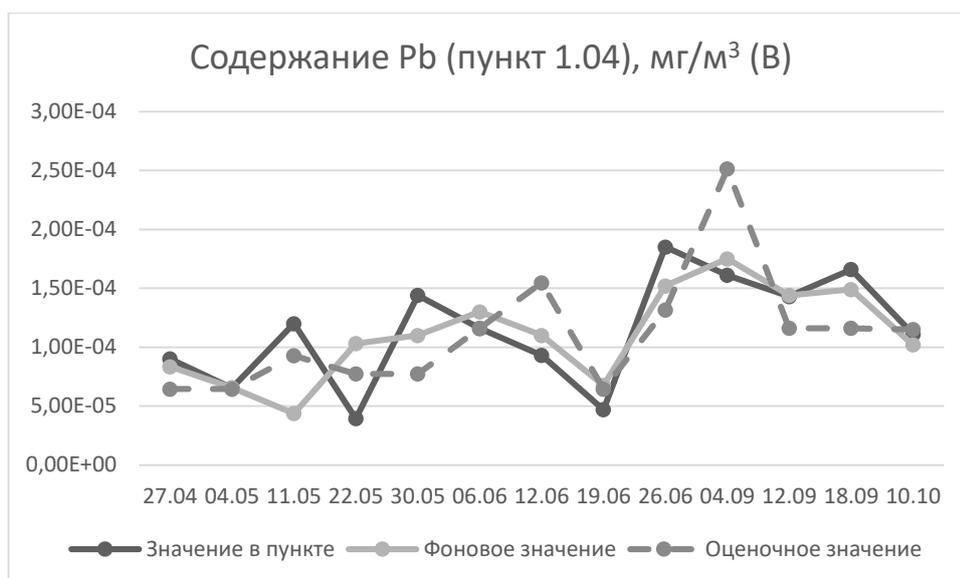


Рис. 23 в. Содержание Pb (пункт 1.04)

2. Для пунктов 1.05, 1.07, 1.09 (рис. 24) низкие значения содержания Pb в приземном слое атмосферного воздуха характерны для 12.06.2017, несмотря на низкие скорости ветра (2-3 м/с). Однако, если учесть, что в этот день при юго-западном ветре данные пункты находились с подветренной стороны дороги, здесь не возникает противоречий. Максимумы содержания Pb приходятся на 04.09.2017 (пункты 1.05, 1.07), что обусловлено наличием в день проведения наблюдений высокой относительной влажности воздуха около 80% и скорости ветра 3-5 м/с, не способствующей достаточному рассеиванию загрязняющих веществ.

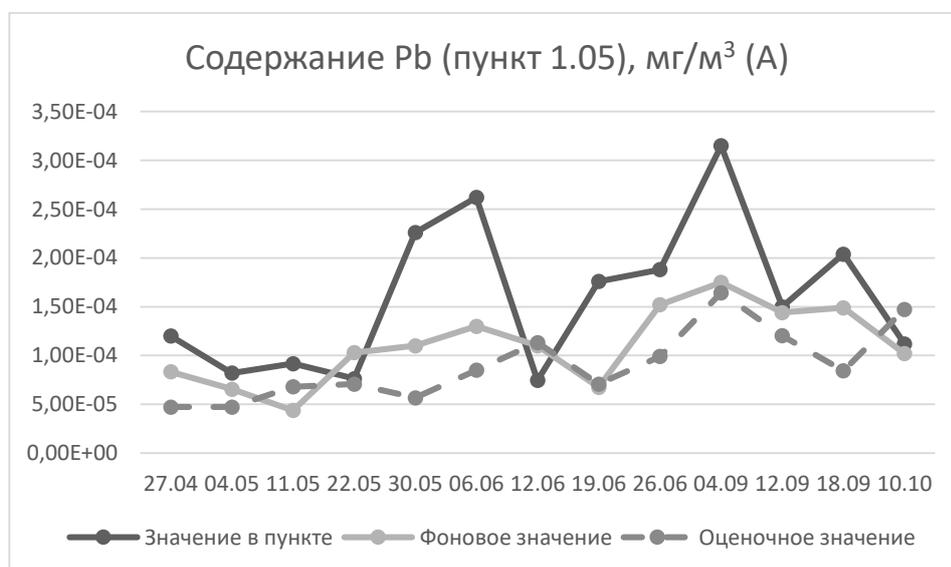


Рис. 24 а. Содержание Pb (пункт 1.05)

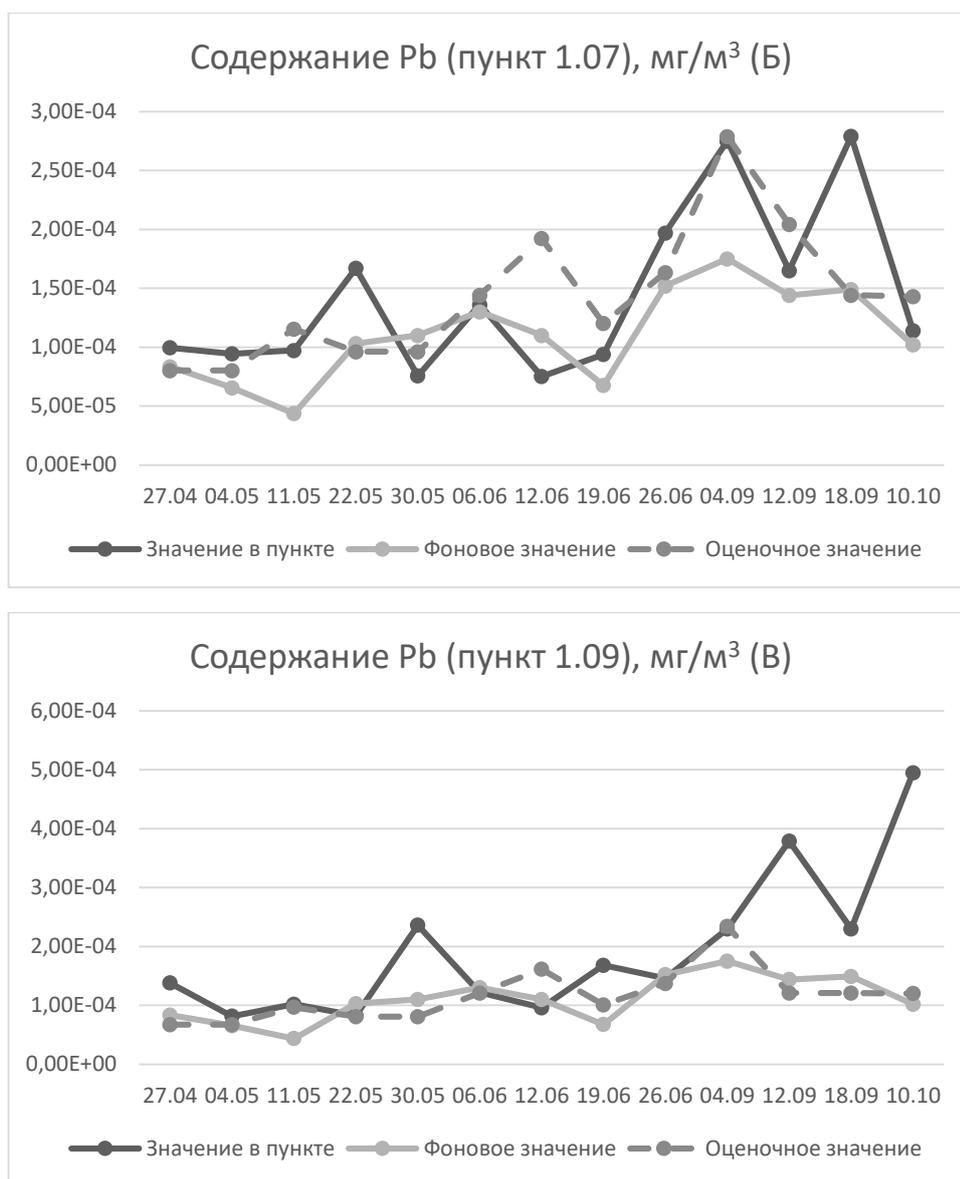


Рис. 24 б, в. Содержание Pb (пункты 1.07, 1.09)

3. Для пунктов 1.10, 1.11, 1.12 (рис. 25) высокое содержание Pb наблюдается 30.05.2017, так как несмотря на высокую скорость ветра (6-7 м/с) данные пункты расположены на наветренной стороне дороги. Низкое содержание Pb для данных пунктов характерно с 27.04.2017 по 22.05.2017, обусловленное относительной влажностью атмосферного воздуха до 50% и скоростью ветра 5-7 м/с в дни проведения наблюдений.

На рисунке 26 наибольшие средние значения содержания Pb в приземном слое атмосферного воздуха представлены в пунктах 1.09, 1.10, 1.11. Среднее значение в пункте 1.09, тем не менее, обусловлено аномально высоким содержанием Pb в день проведения наблюдений 10.10.2017. Пункты 1.10, 1.11

расположены возле перекрестков с высокой плотностью автотранспортных потоков.

Степень корреляции уровня содержания Pb и высоты для профилей 1.02-1.04 и 1.07-1.09 составляет 0,23 и -0,91 соответственно (рис. 27). Относительно пункта 1.09 можно сказать, что он располагается ниже пунктов 1.07, 1.08, в нем происходило наибольшее накопление Pb, так как при юго-западном ветре в день проведения наблюдений 10.10.2017 происходил дополнительный перенос автотранспортных выбросов со стороны ул. Студенческой.

Сила коэффициента корреляции варьируется от слабой отрицательной до очень высокой, что позволяет сказать, что моделирование, применяемое в данном исследовании, в незначительной степени подходит для получения ориентировочных оценочных значений содержания пыли неорганической.

Относительно данных, представленных на рисунках 28-30, можно сказать следующее:

1. Для пунктов 1.01, 1.02, 1.04, 1.07 характерны незначительные изменения уровня содержания пыли в приземном слое атмосферного воздуха на протяжении всего периода наблюдений.

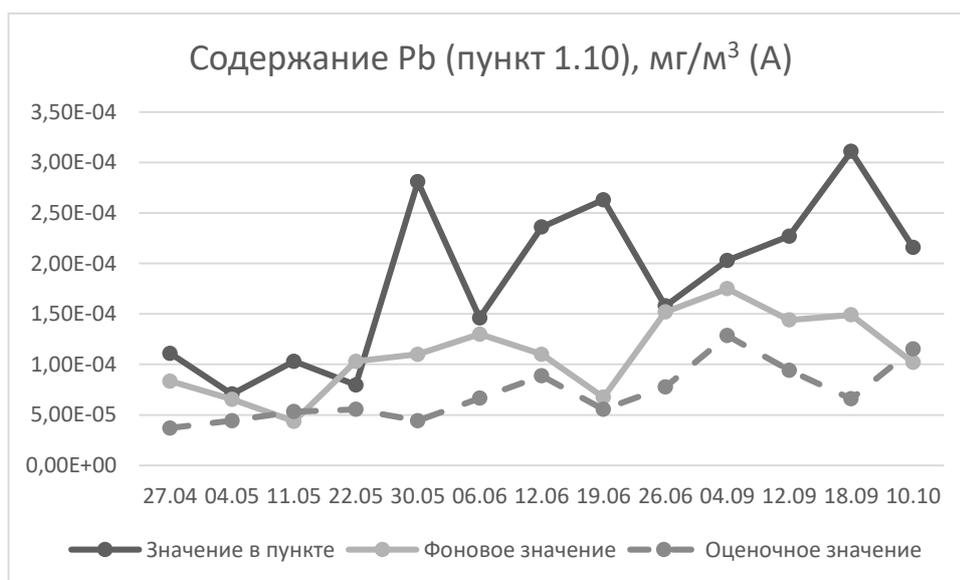


Рис. 25 а. Содержание Pb (пункт 1.10)

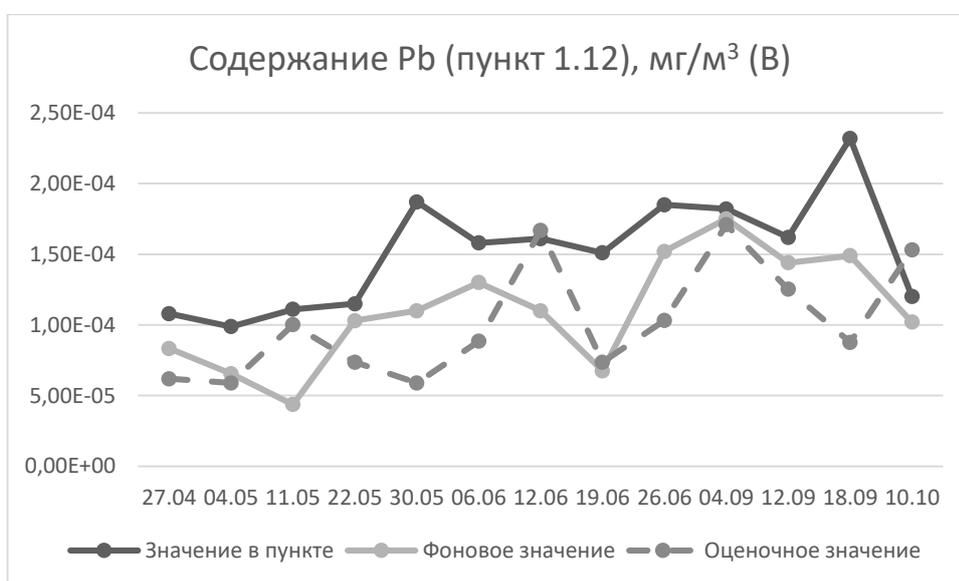
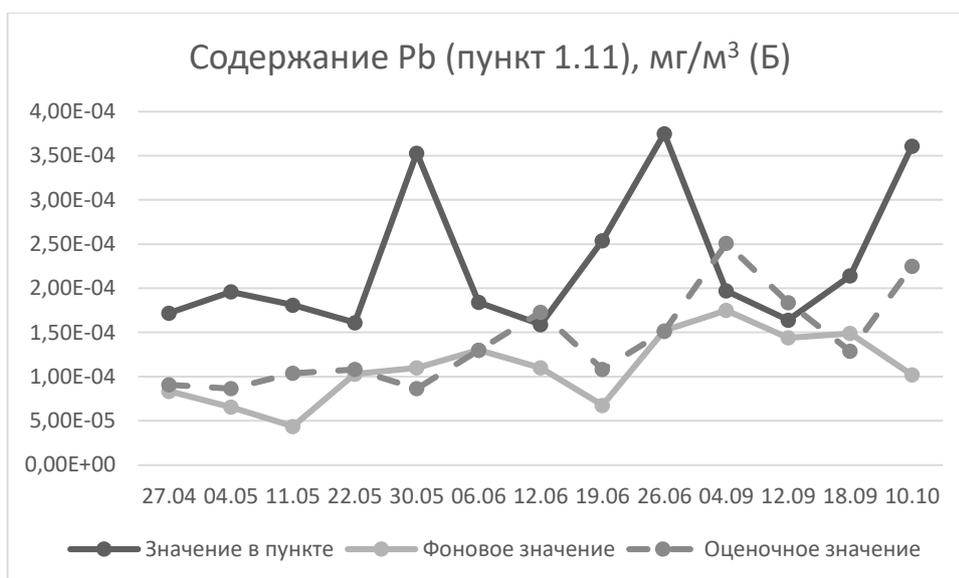


Рис. 25 б, в. Содержание Pb (пункты 1.11, 1.12)

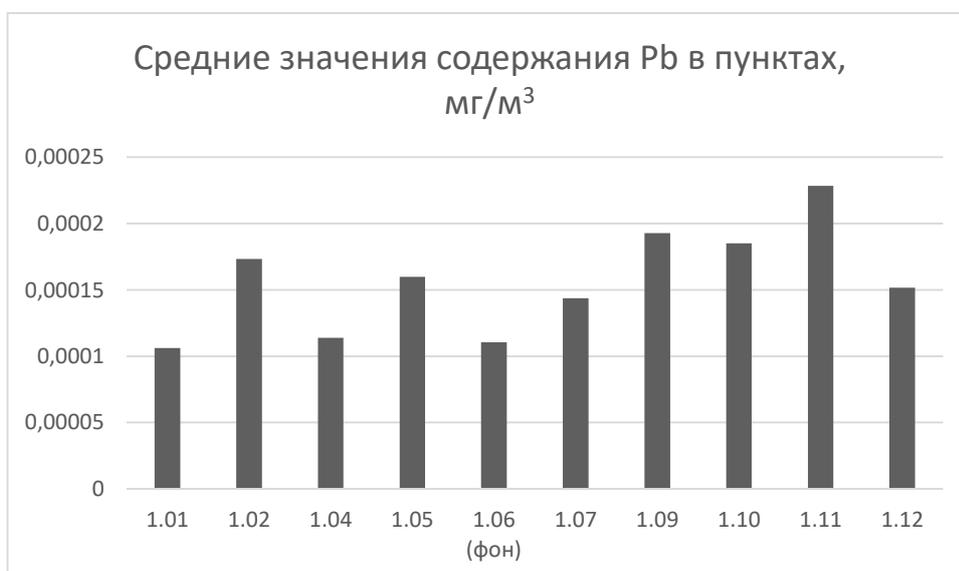


Рис. 26. Средние значения содержания Pb в пунктах

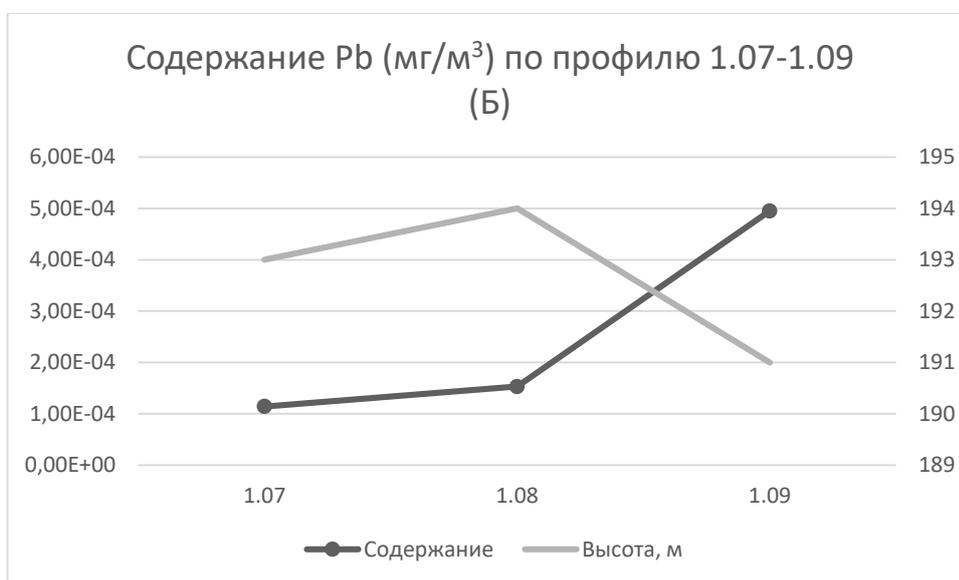
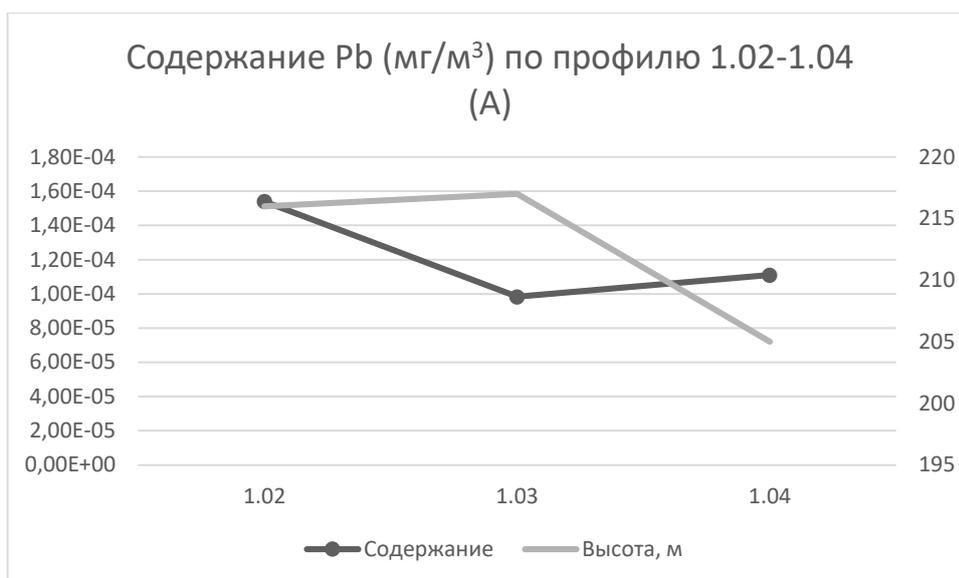


Рис. 27 а, б. Содержание Pb по профилям 1.02-1.04 и 1.07-1.09

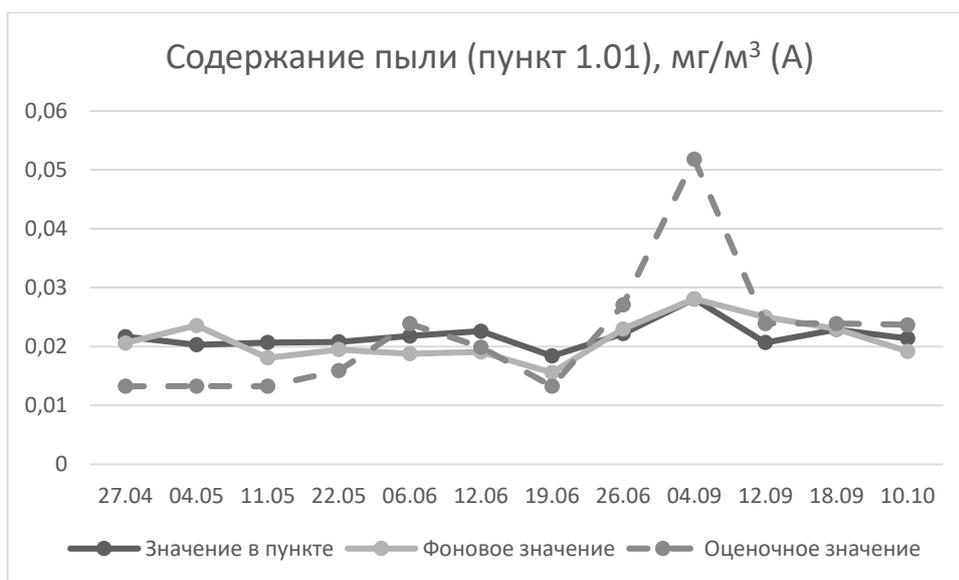


Рис. 28 а. Содержание пыли (пункт 1.01)

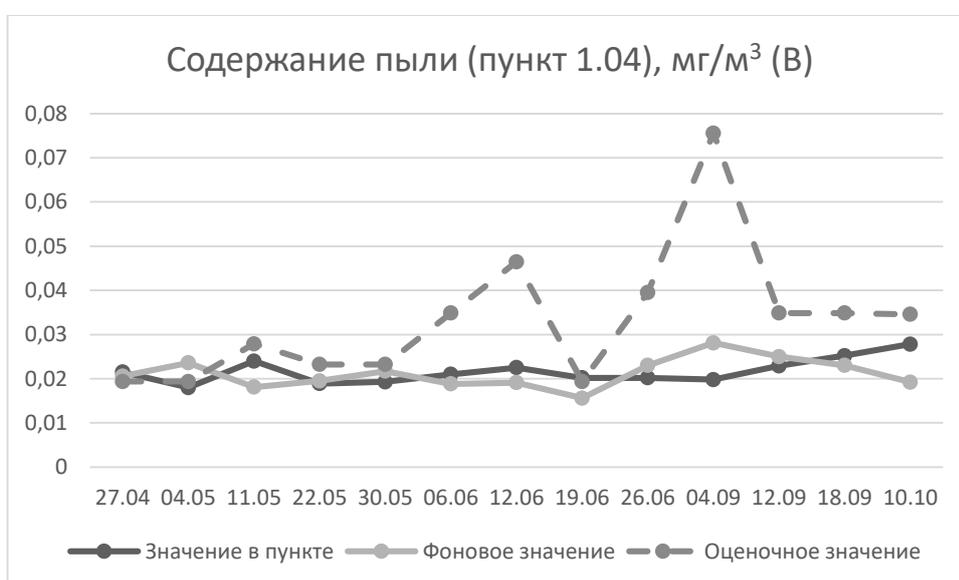
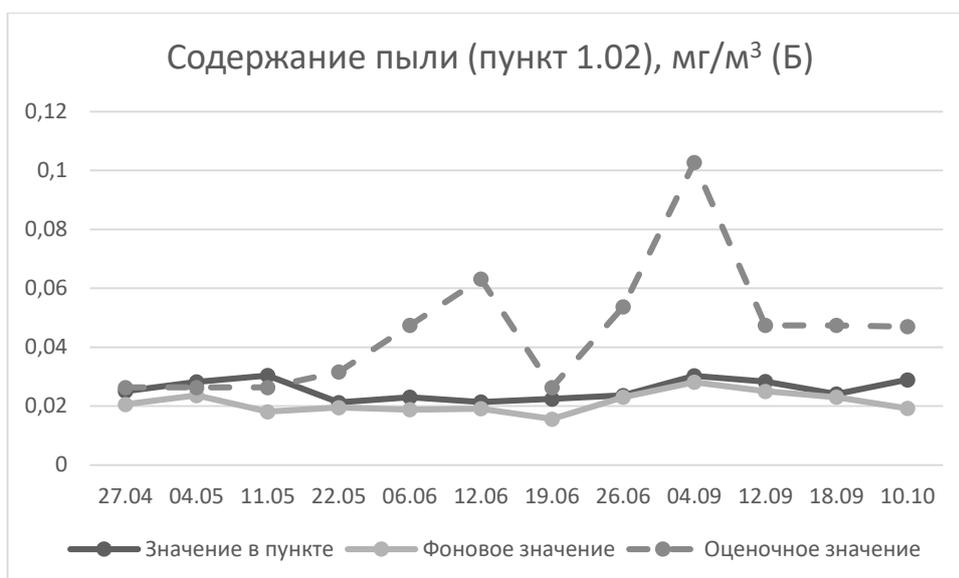


Рис. 28 б, в. Содержание пыли (пункты 1.02, 1.04)

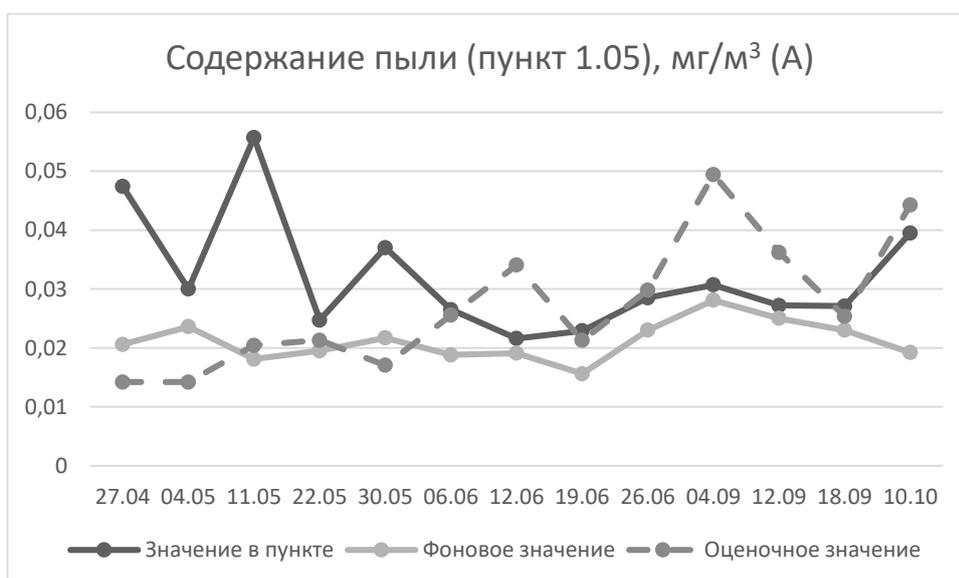


Рис. 29 а. Содержание пыли (пункт 1.05)

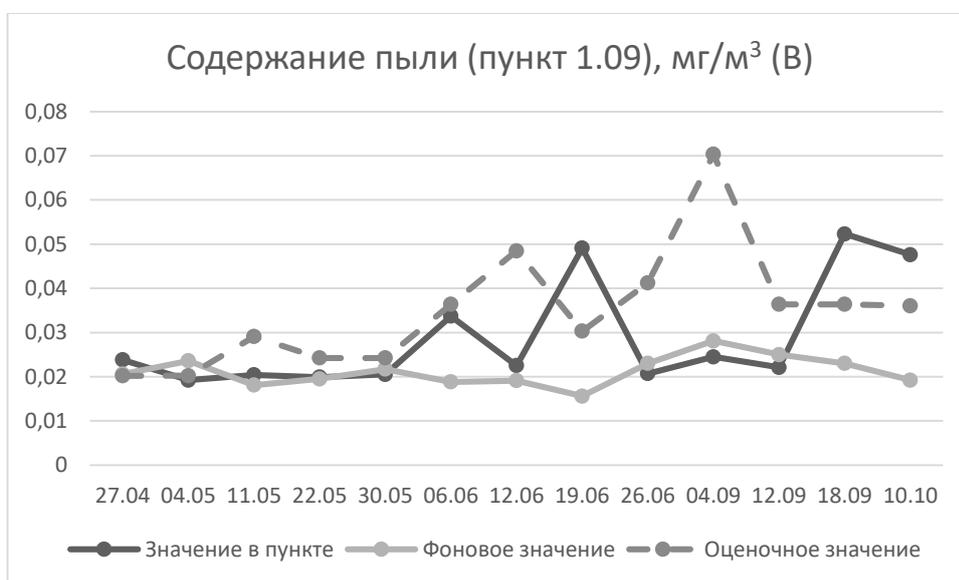
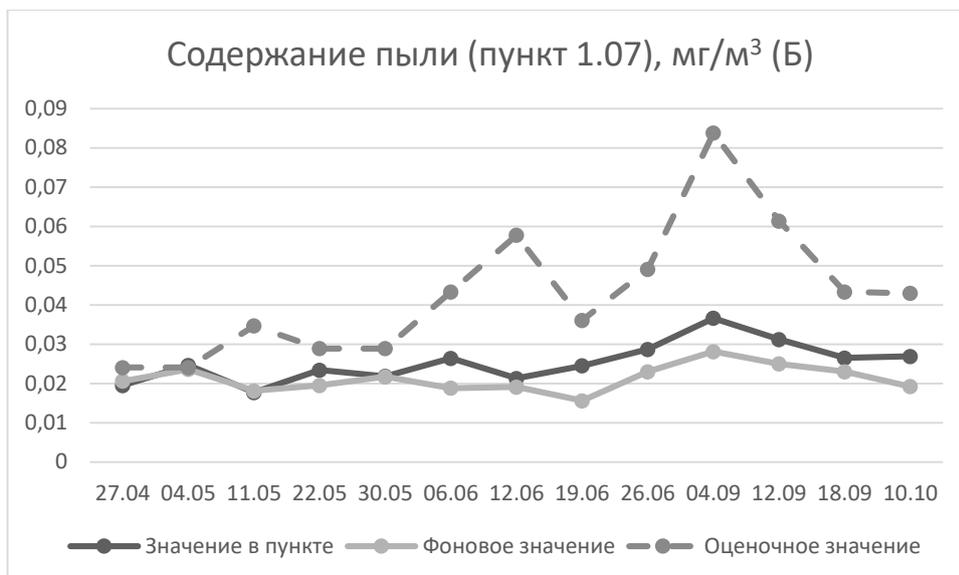


Рис. 29 б, в. Содержание пыли (пункты 1.07, 1.09)

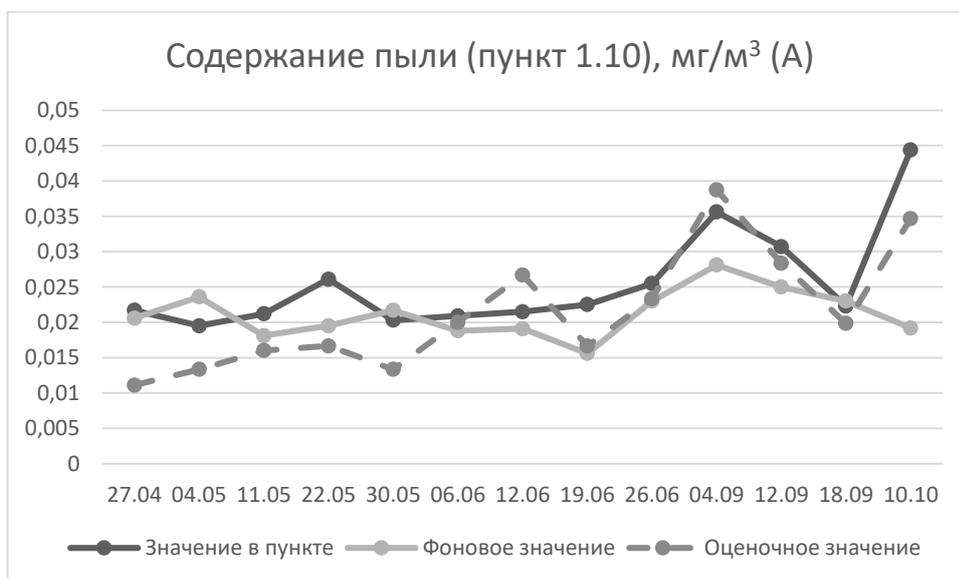


Рис. 30 а. Содержание пыли (пункт 1.10)

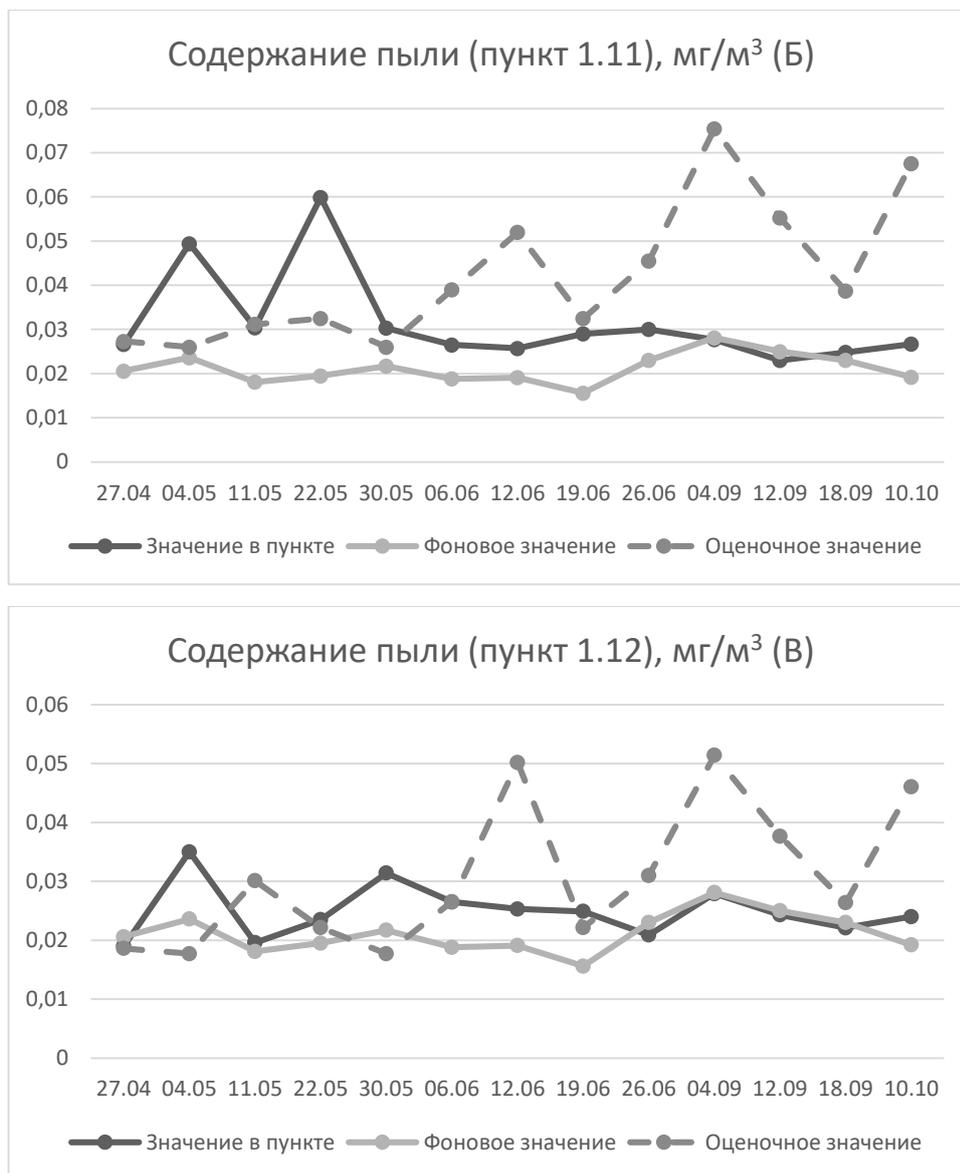


Рис. 30 б, в. Содержание пыли (пункты 1.11, 1.12)

2. Для пункта 1.05 27.04.2017 и 11.05.2017 наблюдались пиковые значения. Это можно объяснить тем, что данный пункт подпадает под влияние выбросов завода ЖБК, расположенного к западу от него, при западном ветре, который наблюдался 27.04.2017 и 11.05.2017.

3. Для пункта 1.09 пиковые значения характерны для 19.06.2017, 18.09.2017, 10.10.2017. Это обусловлено влиянием скоростей ветра (3-5 м/с), не достаточных для рассеивания пыли и наветренным положением этого пункта в эти дни проведения наблюдений.

4. Для пунктов 1.10, 1.11, 1.12 пиковые значения наблюдаются в большинстве случаев при северо-восточном ветре, что является аномальным

явлением, так как в таком случае эти пункты находятся с подветренной стороны и такое явление предположительно можно объяснить наличием мгновенных локальных изменений скорости и направления ветра.

На рисунке 31 наибольшие средние значения содержания пыли в приземном слое атмосферного воздуха представлены в пунктах 1.05, 1.09, 1.11, которые расположены возле перекрестков ул. Студенческой, просп. Богдана Хмельницкого.

Степень корреляции уровня содержания пыли и высоты для профилей 1.02-1.04 и 1.07-1.09 составляет $-0,37$ и $-0,96$ соответственно (рис. 32), однако, при сравнении значений содержания пыли со значениями содержания Рb по данным профилям (рис. 27), степень корреляции между ними достигает $0,82$ и $0,99$ соответственно.

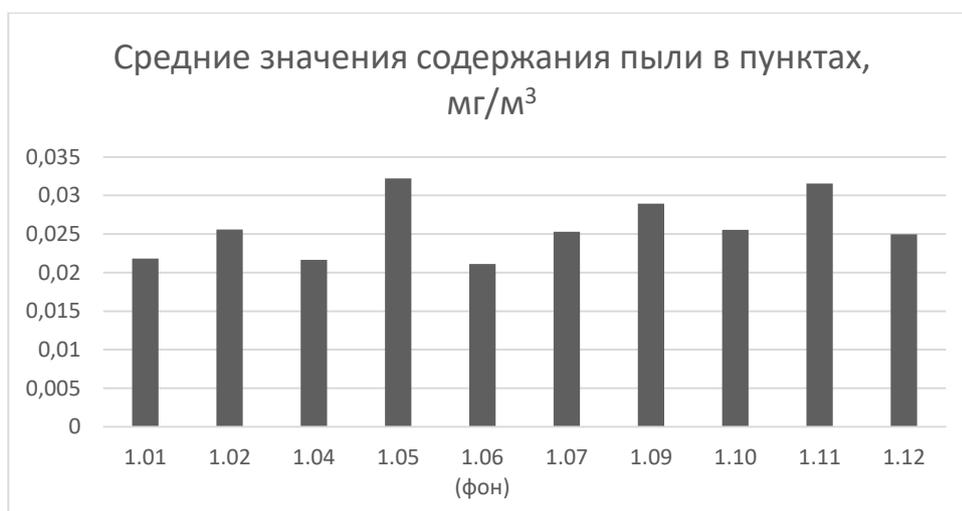


Рис. 31. Средние значения содержания пыли в пунктах

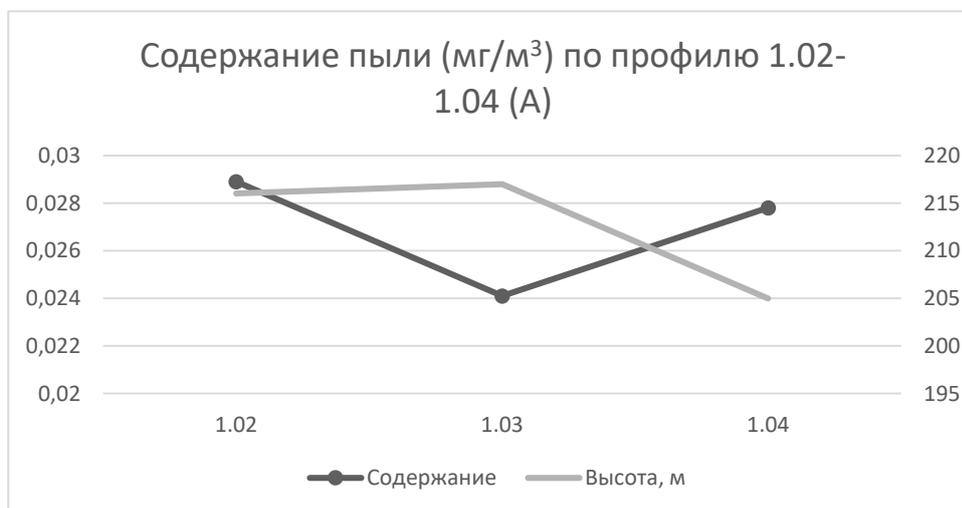


Рис. 32 а. Содержание пыли по профилю 1.02-1.04

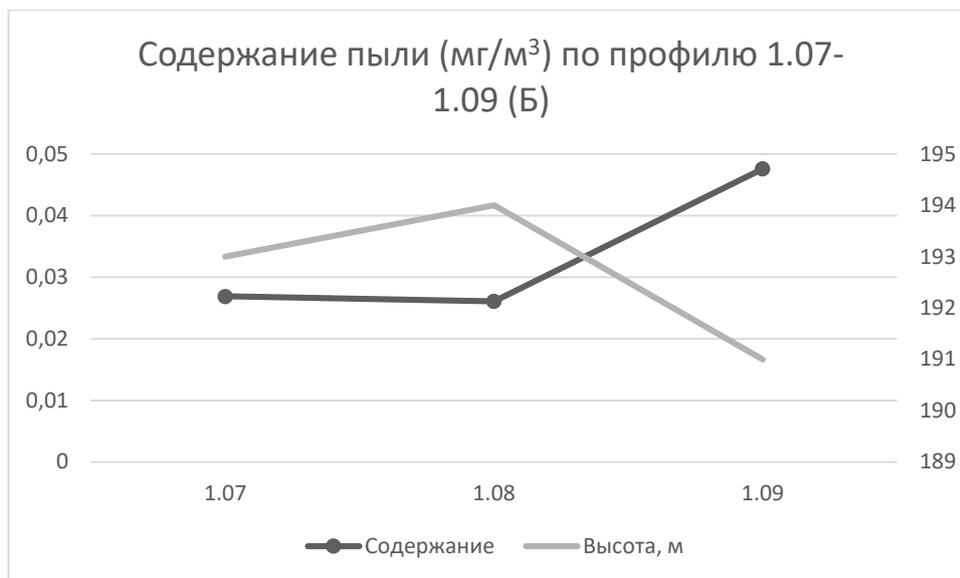


Рис. 32 б. Содержание пыли по профилю 1.07-1.09

3.2.2. Ключевой участок в центральной части города (№2)

Изменение содержания оксида углерода (СО) в приземном слое атмосферного воздуха в основных пунктах ключевого участка №2 представлено на рисунках 1-3 приложения 1. Сила корреляционных связей среди достоверных коэффициентов корреляции является средней.

Относительно данных, представленных на рисунках 1-3 приложения 1, можно сказать следующее:

1. Для пункта 2.01 характерен относительно постоянный уровень содержания оксида углерода от 1,5 до 2,3 мг/м³ на протяжении почти всего периода наблюдений, за исключением 20.09.2017, когда содержание СО превысило 3 мг/м³. Это может быть связано с наличием в этот день наблюдений восточного ветра, дующего со скоростью 5-6 м/с, сносившего с дороги по просп. Белгородскому в западном направлении выбросы автотранспорта.

2. В пункте 2.02 выделяются 2 пиковых значения – 24.05.2017 и 28.06.2017 около 3 мг/м³. В первом случае оно обусловлено переносом выбросов автотранспорта с ул. Князя Трубецкого юго-западным ветром (скорость 5-7 м/с), во втором случае – переносом выбросов с просп. Белгородского северо-восточным ветром (скорость 3-4 м/с – наличие НМУ).

3. В пункте 2.03 выделяются 3 пиковых значения – 1.06.2017, 16.06.2017, 8.09.2017 около 2 мг/м^3 . В первых двух случаях это связано с наличием северо-западного ветра (6 м/с), несмотря на противоречие – пункт расположен с подветренной стороны от дороги, однако, наличие высотного здания (ул. Калинина 1), возможно оказывает влияние на локальные воздушные потоки. 8.09.2017 пиковое значение связано с наличием высокой относительной влажности атмосферного воздуха – до 80%.

4. Для пункта 2.05 высокое содержание СО характерно в дни проведения наблюдений в июне: 22.06.2017, 28.06.2017 и сентябре: 8.09.2017, 20.09.2017. В эти дни были ветры западного и восточного направлений ($3\text{-}6 \text{ м/с}$). При таких скоростях ветра в сочетании с высокой транспортной загруженностью ул. Преображенской содержание СО достигало $3\text{-}4 \text{ мг/м}^3$.

5. Для пунктов 2.06, 2.07 характерно колебание уровня содержания СО в пределах $1,5\text{-}3 \text{ мг/м}^3$, и наиболее высокие значения содержания СО были отмечены 26.04.2017, это связано с наличием юго-западного ветра, при котором пункт 2.06 находился с наветренной стороны по отношению к ул. Князя Трубецкого, 2.07 – к ул. Преображенской.

6. Для пунктов 2.08-2.10 характерны незначительные колебания уровня содержания СО с пиковыми значениями в отдельные дни наблюдений. Наиболее высокое пиковое значение наблюдалось 10.05.2017 – более $3,5 \text{ мг/м}^3$, которое обусловлено наличием северного ветра (дополнительный перенос выбросов автотранспорта с ул. Князя Трубецкого), скорость которого была 3 м/с – присутствовали НМУ для рассеивания загрязняющих веществ.

Изменение содержания оксида азота (NO) в приземном слое атмосферного воздуха в основных пунктах ключевого участка №2 представлено на рисунках 4-6 приложения 1. Сила корреляционных связей среди достоверных коэффициентов корреляции является средней.

Относительно данных, представленных на рисунках 4-6 приложения 1, можно сказать следующее:

1. Для пунктов 2.01-2.03 характерны уровни содержания оксида азота на приблизительно одинаковом уровне на протяжении всего периода наблюдений с отдельными пиковыми значениями, наибольшее из которых достигает $0,02 \text{ мг/м}^3$ в пункте 2.02 24.05.2017, который находился с наветренной стороны по отношению к ул. Князя Трубецкого при юго-западном ветре.

2. Пункты 2.05-2.07, расположенные вдоль дороги по ул. Преображенской отличаются достаточно резкими колебаниями уровня содержания NO, что особенно заметно в пункте 2.05 в дни проведения наблюдений в июне и сентябре. На примере пункта 2.05 можно отметить важное значение направления ветра – в дни наблюдений, в которые присутствовал западный ветер, пункт находился на наветренной стороне дороги по ул. Преображенской и содержание NO значительно повышалось в несколько раз по сравнению с теми днями, когда направление ветра было иное. Наибольший уровень содержания NO среди пунктов 2.05-2.07 – около $0,014 \text{ мг/м}^3$ (пункт 2.07).

3. Пункты, расположенные вдоль дороги просп. Гражданского, отличаются следующим – сходство графиков пунктов 2.09 и 2.10 (коэффициент корреляции между значениями содержания NO в этих пунктах составляет 0,61) дает возможность сделать предположение о сходных условиях формирования загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха (наличие плотной застройки). В отличие от этих пунктов, пункт 2.08 располагается рядом с Соборной площадью, где автомобильное движение запрещено, и это значительно влияет на средний уровень содержания NO, но несмотря на это, в данном пункте наблюдалось пиковое значение, наиболее высокое среди пунктов 2.08-2.10 – около $0,02 \text{ мг/м}^3$ при северо-западном ветре (8-10 м/с), который приносил дополнительные выбросы автотранспорта с ул. Попова.

Изменение содержания оксида азота (NO_2) в приземном слое атмосферного воздуха в основных пунктах ключевого участка №2 представлено на рисунках 7-9 приложения 1. Сила корреляционных связей среди достоверных коэффициентов корреляции является средней.

Относительно данных, представленных на рисунках 7-9 приложения 1, можно сказать следующее:

1. Для пунктов 2.01, 2.03 характерны следующие пиковые значения – около $0,02 \text{ мг/м}^3$ 8.06.2017 при юго-восточном ветре 4-5 м/с (перенос выбросов автотранспорта с дороги по просп. Белгородскому и ул. Вокзальной соответственно), для пункта 2.02 – около $0,03 \text{ мг/м}^3$ 15.09.2017 при юго-западном ветре 6-8 м/с (перенос выбросов автотранспорта с дороги по ул. Князя Трубецкого).

2. Как и в случае с NO , колебания уровня NO_2 в пунктах 2.05-2.07 также имеют высокую амплитуду колебаний в июне и сентябре. Самый высокий уровень содержания NO_2 наблюдается в пункте 2.06 28.06.2017 при северном ветре 3 м/с, приносящем дополнительные выбросы автотранспорта с ул. Князя Трубецкого, скорость которого не способствовала эффективному рассеиванию загрязняющих веществ. Данные условия в сочетании с высокой плотностью застройки обусловили содержание NO_2 в приземном слое атмосферного воздуха более $0,025 \text{ мг/м}^3$.

3. Для пунктов 2.08-2.10 характерны высокие уровни содержания NO_2 24.05.2017, выборочно 16.06.2017, 22.06.2017 (при западном ветре в эти дни наблюдений пункты находились с наветренной стороны), 15.09.2017 (при юго-западном ветре дополнительный перенос выбросов автотранспорта с улиц, пересекающих просп. Гражданский). Наиболее высокий уровень содержания NO_2 – в пункте 2.08 28.06.2017 более $0,02 \text{ мг/м}^3$ при северо-восточном ветре. Несмотря на то, что пункт 2.08 в этом случае находился с подветренной стороны, при скорости ветра 3 м/с не создавались благоприятные условия для рассеивания выбросов автотранспорта.

Изменение содержания соединений свинца (Pb) в приземном слое атмосферного воздуха в основных пунктах ключевого участка №2 представлено на рисунках 10-12 приложения 1. Сила корреляционных связей среди достоверных коэффициентов корреляции является средней.

Относительно данных, представленных на рисунках 10-12 приложения 1, можно сказать следующее:

1. Среди пунктов 2.01-2.03 наиболее высокое значение содержания соединений свинца в приземном слое атмосферного воздуха наблюдалось 16.06.2017 в пункте 2.01 до $0,00025 \text{ мг/м}^3$, обусловленное переносом выбросов автотранспорта западным ветром вдоль просп. Белгородского.

2. Среди пунктов 2.05-2.07 наиболее высокое значение содержания соединений свинца в приземном слое атмосферного воздуха наблюдалось 28.06.2017 в пункте 2.05 до $0,0003 \text{ мг/м}^3$. При этом наблюдается сходство ситуации с ситуацией в пункте 2.01 – единственное пиковое значение при выраженном относительно одинаковом уровне в остальные дни проведения наблюдений. В отличие от пункта 2.01, дополнительный перенос автотранспортных выбросов происходил с помощью северо-восточного ветра с дороги по ул. Попова.

3. Среди пунктов 2.08-2.10 наиболее высокое значение содержания соединений свинца в приземном слое атмосферного воздуха наблюдалось 28.06.2017 в пункте 2.09 около $0,00025 \text{ мг/м}^3$. В этом же пункте 8.06.2017 наблюдалось значение выше $0,0002 \text{ мг/м}^3$. Эти два пиковых значения наблюдались в дни наблюдений, когда скорость ветра не превышала 4 м/с , что не способствовало эффективному рассеиванию загрязняющих веществ.

Изменение содержания пыли неорганической в приземном слое атмосферного воздуха в основных пунктах ключевого участка №2 представлено на рисунках 13-15 приложения 1. Сила корреляционных связей среди достоверных коэффициентов корреляции является средней.

Относительно данных, представленных на рисунках 13-15 приложения 1, можно сказать следующее:

1. Среди пунктов 2.01-2.03 наиболее высокое значение содержания пыли приходится на 3.05.2017 в пункте 2.01 и составляет $0,04 \text{ мг/м}^3$. Это обусловлено тем, что пункт 2.01 в день проведения наблюдений находился с наветренной стороны от дороги при северо-западном ветре. Также, высокие уровни

содержания пыли в пунктах 2.02, 2.03 – выше $0,03 \text{ мг/м}^3$, связаны с нахождением пунктов с наветренной стороны от дороги в дни проведения наблюдений.

2. Среди пунктов 2.05-2.07 наиболее высокое значение содержания пыли приходится на 20.09.2017 в пункте 2.05 и превышает $0,045 \text{ мг/м}^3$. В пункте 2.07 отмечаются 2 пиковых значения – 3.05.2017 и 8.09.2017 около $0,04 \text{ мг/м}^3$, связанные с нахождением пунктов с наветренной стороны от дороги в дни проведения наблюдений.

3. Пункты 2.08-2.10 отличаются от всех остальных пунктов тем, что колебания уровня содержания пыли в периоде наблюдений незначительны и содержание пыли находится в пределах $0,02-0,03 \text{ мг/м}^3$, за исключением максимального пикового значения 3.05.2017 в пункте 2.10, составившего $0,035 \text{ мг/м}^3$.

Подводя итоги анализа изменения содержания рассмотренных загрязняющих веществ в приземном слое ключевого участка №2, следует отметить пункты с наибольшими усредненными значениями за период наблюдений (данные приложения 1, рис. 16-17): СО – 2.02, 2.05, 2.07 (более 2 мг/м^3), NO – 2.07, 2.08, 2.09 (более $0,01 \text{ мг/м}^3$), NO₂ – 2.03 (более $0,014 \text{ мг/м}^3$), Рb – 2.08 (более $0,00014 \text{ мг/м}^3$), пыль – 2.05, 2.07 (более $0,025 \text{ мг/м}^3$).

3.2.3. Ключевой участок в южной части города (№3)

Изменение содержания оксида углерода (СО) в приземном слое атмосферного воздуха в основных пунктах ключевого участка №3 представлено на рисунках 1-3 приложения 2. Сила корреляционных связей среди достоверных коэффициентов корреляции является средней.

Относительно данных, представленных на рисунках 1-3 приложения 2, можно сказать следующее:

1. Среди пунктов 3.01-3.03 наибольшая амплитуда колебания уровня содержания СО наблюдается в пункте 3.03, в котором также наблюдается

наибольшее значение содержания оксида углерода – более $3,5 \text{ мг/м}^3$ 7.06.2017 при северо-восточном ветре (5 м/с). Это обусловлено тем, что в данной ситуации пункт 3.03 находился с наветренной стороны от дороги (аналогичная ситуация наблюдалась 15.05.2017).

2. Среди пунктов 3.04-3.07 наибольшее значение содержания СО достигается в пункте 3.05 27.06.2017 и составляет около 4 мг/м^3 . При западном ветре в день проведения наблюдений пункт 3.05 находился с наветренной стороны от дороги по ул. Королева, при этом скорость ветра не превышала 3-4 м/с, что не способствовало рассеиванию выбросов от автотранспорта. В пунктах 3.04 и 3.07 максимальные значения содержания СО составляли около 3 мг/м^3 , факторами, влияющими на увеличение содержания оксида углерода, также были расположение пункта с наветренной стороны по отношению к дороге и скорости ветра 3-5 м/с.

3. В пунктах 3.08-3.10 по сравнению с остальными пунктами данного ключевого участка уровень содержания СО не претерпевал значительных колебаний, и наибольшее значение было отмечено в пункте 3.10, который в день наблюдений 27.06.2017 находился с наветренной стороны по отношению к ул. Губкина, которое составило около 3 мг/м^3 .

Изменение содержания оксида азота (NO) в приземном слое атмосферного воздуха в основных пунктах ключевого участка №3 представлено на рисунках 4-6 приложения 2. Сила корреляционных связей среди достоверных коэффициентов корреляции является средней.

Относительно данных, представленных на рисунках 4-6 приложения 2, можно сказать следующее:

1. Для пунктов 3.01-3.03 характерны резкие колебания уровня содержания NO в течение периода наблюдений. Наибольшего значения достигает содержание NO в пункте 3.01 31.05.2017 – около $0,025 \text{ мг/м}^3$, при южном ветре, скорость которого (3 м/с) не способствовала эффективному рассеиванию выбросов автотранспорта, при котором пункт 3.01 находился с наветренной стороны по отношению к ул. Щорса.

2. Для пунктов 3.04-3.07 характерны пиковые значения от значений, близких к $0,02 \text{ мг/м}^3$ до максимального из них – более $0,025 \text{ мг/м}^3$ (пункт 3.05), приходящиеся на 31.05.2017. В этот день наблюдений наблюдался восточный ветер, скорость которого (3 м/с) не способствовала эффективному рассеиванию выбросов автотранспорта, при котором данные пункты находились под дополнительным влиянием автотранспортных выбросов, сносимых ветром вдоль ул. Королева.

3. Такая же ситуация характерна для пунктов 3.08-3.10 с наибольшими значениями содержания NO, приходящимися на 31.05.2017. Максимального значения содержание оксида азота достигает в пункте 3.08 – более $0,08 \text{ мг/м}^3$, что может быть связано с тем, что во время наблюдений в данном пункте скорость ветра была 2 м/с (являлась опасной скоростью ветра), была высокая загруженность дороги автотранспортом в час пик. Также на повышение уровня загрязнения выбросами автотранспорта влияние оказывает то, что пункт находится вблизи нерегулируемого перекрестка с круговым движением. Также высокое значение содержания наблюдается 28.04.2017 в пункте 3.10 и составляет $0,04 \text{ мг/м}^3$ при положении пункта с наветренной стороны по отношению к дороге при юго-восточном ветре 3 м/с.

Изменение содержания оксида азота (NO_2) в приземном слое атмосферного воздуха в основных пунктах ключевого участка №3 представлено на рисунках 7-9 приложения 2. Сила корреляционных связей среди достоверных коэффициентов корреляции является средней.

Относительно данных, представленных на рисунках 7-9 приложения 2, можно сказать следующее:

1. Для пунктов 3.01-3.03 наибольшие значения содержания диоксида азота характерны в день проведения наблюдений 13.09.2017 и варьируются от $0,03$ до $0,04 \text{ мг/м}^3$. Максимальное значение приходится на 7.06.2017 в пункте 3.03 – более $0,04 \text{ мг/м}^3$, обусловленное положением пункта с наветренной стороны от дороги при северо-восточном ветре.

2. Для пунктов 3.04-3.07 пиковые значения приходятся на 31.05.2017, 27.06.2017 и 13.09.2017. На последнюю из перечисленных дат приходятся максимальные значения в пунктах 3.05, 3.07 и составляют более $0,035 \text{ мг/м}^3$, что обусловлено дополнительным переносом автотранспортных выбросов южным ветром вдоль ул. Шаландина и просп. Ватутина.

3. Для пунктов 3.08-3.10 пиковые значения приходятся на 28.04.2017, 31.05.2017 и 27.06.2017. Максимальное значение приходится на 31.05.2017 в пункте 3.10 и составляет $0,18 \text{ мг/м}^3$, что обусловлено наличием ветра со скоростью 2 м/с (опасная скорость ветра) а также, возможно, наличием мгновенных локальных изменений скорости и направления ветра. Высокое значение также наблюдается в пункте 3.08 27.06.2017 более $0,06 \text{ мг/м}^3$ при западном ветре, при котором пункт находился с наветренной стороны по отношению к ул. Щорса при скорости ветра 3 м/с , не способствующей эффективному рассеиванию автотранспортных выбросов.

Изменение содержания соединений свинца (Pb) в приземном слое атмосферного воздуха в основных пунктах ключевого участка №3 представлено на рисунках 10-12 приложения 2. Сила корреляционных связей среди достоверных коэффициентов корреляции является средней.

Относительно данных, представленных на рисунках 10-12 приложения 2, можно сказать следующее:

1. Среди пунктов 3.01-3.03 наибольшее значение содержания соединений свинца наблюдается в пункте 3.03 и составляет около $0,0004 \text{ мг/м}^3$ в день наблюдений 14.06.2017, что обусловлено дополнительным переносом автотранспортных выбросов с ул. Костюкова или наличием мгновенных локальных изменений скорости и направления ветра. Высокие значения содержания соединений свинца также приходятся на 31.05.2017, 6.09.2017, 13.09.2017.

2. Среди пунктов 3.04-3.07 наибольшее значение содержания соединений свинца наблюдается в пункте 3.04 и составляет около $0,00035 \text{ мг/м}^3$ в день наблюдений 06.09.2017, что обусловлено нахождением пункта с наветренной

стороны по отношению к дороге по ул. Щорса при юго-западном ветре, скорость которого – 3 м/с не способствовала эффективному рассеиванию автотранспортных выбросов. В остальных пунктах содержание соединений свинца не превышает 0,0002 мг/м³.

3. Среди пунктов 3.08-3.10 наибольшее значение содержания соединений свинца наблюдается в пункте 3.08 и превышает 0,00025 мг/м³ в день наблюдений 31.05.2017, что обусловлено наличием дополнительного переноса выбросов автотранспорта восточным ветром с дороги по ул. Губкина и наличием ветра со скоростью 2 м/с (опасная скорость ветра).

Изменение содержания пыли неорганической в приземном слое атмосферного воздуха в основных пунктах ключевого участка №3 представлено на рисунках 13-15 приложения 2. Сила корреляционных связей среди достоверных коэффициентов корреляции является средней.

Относительно данных, представленных на рисунках 13-15 приложения 2, можно сказать следующее:

1. Среди пунктов 3.01-3.03 содержание пыли находится в пределах 0,02-0,03 мг/м³, единственным пиковым значением является значение в пункте 3.02 19.09.2017 и составляет более 0,05 мг/м³, что обусловлено наличием западного ветра, сносившего пыль вдоль дороги по ул. Костюкова, также, возможно, это следствие высокого содержания пыли на данном участке, отличающегося высокой плотностью застройки.

2. Среди пунктов 3.04-3.07 содержание пыли находится в пределах 0,02-0,03 мг/м³, максимальное значение, превышающее 0,03 мг/м³, наблюдалось в пункте 3.04 17.04.2017 при северо-западном ветре (пункт с наветренной стороны от дороги).

3. Среди пунктов 3.08-3.10 максимальное значение содержания пыли наблюдалось в пункте 3.09, более 0,04 мг/м³ 15.05.2017 (при северо-восточном ветре дополнительный перенос пыли с ул. Шаландина). Также высокое значение – около 0,04 мг/м³ наблюдалось в пункте 3.10 31.05.2017 при восточном ветре – дополнительный перенос пыли с ул. Губкина.

Подводя итоги анализа изменения содержания рассмотренных загрязняющих веществ в приземном слое ключевого участка №3, следует отметить пункты с наибольшими усредненными значениями за период наблюдений (данные приложения 2, рис. 16-17): CO – 3.03, 3.04, 3.07 (более 2 мг/м³), NO – 3.08, 3.10 (более 0,014 мг/м³), NO₂ – 3.10 (более 0,025 мг/м³), Pb – 3.03, 3.08 (более 0,00016 мг/м³), пыль – 3.08, 3.09 (более 0,025 мг/м³).

3.3. Обсуждение результатов и выводы по третьей главе

Попытка применения формулы для получения оценки концентрации окиси углерода вблизи автомобильных дорог в качестве формулы для получения оценки концентрации других исследуемых веществ: оксида и диоксида азота, соединений свинца и пыли неорганической показала неоднозначность результатов. С одной стороны, достоверные величины коэффициентов корреляции оценочных значений с фактическими значениями имеют силы связи от средней до очень высокой, но с другой стороны их доля от общего числа коэффициентов корреляции не является достаточной, чтобы утверждать об эффективности применения формулы для получения оценки концентрации окиси углерода вблизи автомобильных дорог в данном исследовании. В соответствии с таблицей 4, с. 44 число достоверных коэффициентов корреляции от общего числа составляет для ключевых участков: №1 – 40%, №2 – 13%, №3 – 33% (данные по всем исследуемым веществам). Более подробное распределение достоверных значений указано в таблице 8, где N – число достоверных значений, % – процент достоверных значений от общего числа значений.

Конечно, следует учитывать, что погрешность измерений прибора ГАНК-4, которым производились измерения уровней концентрации загрязняющих веществ в данном исследовании составляет 10%. Данные о погодных условиях, которые учитываются в формуле оценки концентрации, были получены из архива погоды с интернет-ресурса gr5.ru, где интервал времени составляет 3

часа, что тоже снижает точность оценки концентрации в особенности при наличии ситуации с мгновенными локальными изменениями скорости и направления ветра.

Таблица 8

Соотношение достоверных значений для каждого из исследуемых веществ

Ключевые участки	№1		№2		№3		Итого по всем ключевым участкам	
	N	%	N	%	N	%	N	%
СО	6	66	2	22	1	11	9	33
NO	3	33	1	11	4	44	8	30
NO ₂	2	22	1	11	3	33	6	22
Pb	4	44	1	11	5	55	10	37
Пыль	3	33	1	11	2	22	6	22

Что касается ситуации с загрязнением приземного слоя атмосферного воздуха на ключевых участках, то следует отметить, что среди усредненных значений концентраций загрязняющих веществ за весь период наблюдений в пунктах наблюдений каждого ключевого участка не было концентраций, превышающих значение ПДК максимальных разовых. В таблице 9 приведены усредненные значения содержания загрязняющих веществ в долях ПДК_{мр}, подтверждающие данный факт (X_{\max} – максимальное значение, X_{\min} – минимальное значение, μ – среднее значение).

Таблица 9

Усредненные значения содержания загрязняющих веществ в долях ПДК_{мр}

Вещество	Ключевой участок №1			Ключевой участок №2			Ключевой участок №3		
	Доля от ПДК _{мр}			Доля от ПДК _{мр}			Доля от ПДК _{мр}		
	X_{\max}	X_{\min}	μ	X_{\max}	X_{\min}	μ	X_{\max}	X_{\min}	μ
СО	0,58	0,31	0,41	0,48	0,29	0,38	0,47	0,33	0,39
NO	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03
NO ₂	0,25	0,11	0,16	0,17	0,12	0,14	0,33	0,13	0,2
Pb	0,23	0,11	0,16	0,15	0,1	0,12	0,17	0,1	0,14
Пыль	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05

Тем не менее, в отдельные дни проведения наблюдений отмечались превышения ПДК_{мр} – СО в пункте 1.11 (7,58 мг/м³, 1,5 ПДК_{мр}) 04.09.2017, NO₂ в пункте 3.10 (0,183 мг/м³, 2,2 ПДК_{мр}) 31.05.2017.

Принимая во внимание результаты ранее проведенных исследований [10], направленных на изучение влияния автотранспорта на загрязнение атмосферного воздуха, можно отметить, что усредненные значения содержания загрязняющих веществ в долях ПДК_{мр} в г. Белгороде (табл. 9) находятся на примерно таком же уровне, что и в 2013 году.

Согласно таблице 9 доля ПДК_{мр} таких веществ, как СО, Рb наиболее высокая на ключевом участке №1, содержание NO приблизительно равное на ключевых участках №1, №3. Содержание NO₂ наиболее высокое на ключевом участке №3, содержание пыли приблизительно одинаковое на всех ключевых участках.

Для проверки соответствия действительности полученных данных в ходе наблюдений было проведено сравнение значений усредненных фоновых содержаний загрязняющих веществ на каждом из ключевых участков с официальными средними значениями по данным Росгидромета, полученными на стационарных постах (рис. 33) (данные взяты из документа «Обзор состояния загрязнения атмосферного воздуха в г. Белгороде за 2017 год»). Было выявлено, что уровень усредненного фонового содержания оксида углерода практически соответствует средним значениям по данным Росгидромета, в отличие от оксида азота, диоксида азота и пыли, усредненное фоновое содержание которых ниже средних значений по данным Росгидромета в 2-7 раз (приложение 3, рис. 1-4).

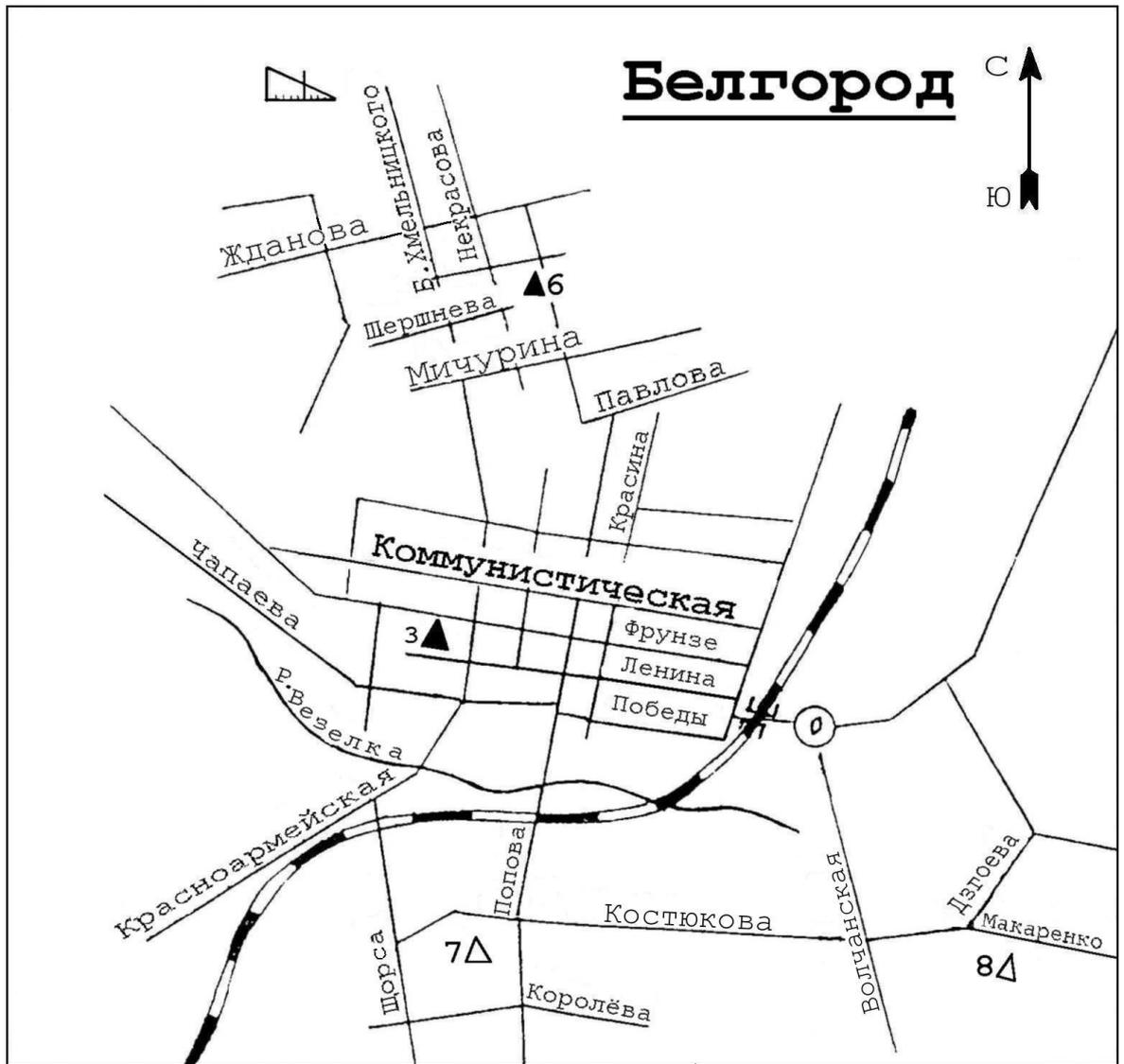


Рис. 33. Схема расположения постов наблюдений Росгидромета в г. Белгороде

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе «Особенности загрязнения приземного слоя атмосферы в г. Белгороде под влиянием автотранспорта» были критически рассмотрены существующие теоретические, методические и прикладные аспекты изучения и оценки качества приземного слоя атмосферного воздуха в условиях городских территорий. Был выявлен ряд проблем, связанных с уровнем адекватности расчетных методов, в том числе с использованием общепринятых программ картографирования ГИС-технологий и предложена авторская программа целевых исследований.

В ходе выполнения практической части выпускной квалификационной работы был проведен сбор данных, содержащих сведения об уровнях содержания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха в период с апреля по июнь и с сентября по октябрь 2017 года на ключевых участках, расположенных в разных частях г. Белгорода – в северной части (№1), центральной (№2) и южной (№3). Была проведен анализ результатов проведенных наблюдений, в ходе которого неоднократно было выявлено влияние скорости и направления ветра на концентрации загрязнителей приземного слоя атмосферного воздуха в отдельные дни проведения наблюдений.

Была проведена попытка получения оценочных значений загрязняющих веществ с помощью формулы для оценки концентрации окиси углерода (Бегма и др., 1984; Шаповалов, 1990), учитывающей ряд показателей, связанных как с погодными условиями, так и с особенностями городской планировки. Была проведена статистическая обработка полученных результатов, в результате которой были рассчитаны коэффициенты корреляции оценочных значений содержания загрязняющих веществ с фактическими значениями. Было выявлено, что достоверные коэффициенты корреляции имеют силы связи от средней до очень высокой, но с другой стороны их доля от общего числа коэффициентов корреляции не является достаточной, чтобы утверждать об

эффективности применения формулы для получения оценки концентрации окиси углерода вблизи автомобильных дорог в данном исследовании.

Было проведено сопоставление значений фоновых содержаний загрязняющих веществ с официальными данными Росгидромета, в ходе которого было выявлено, что уровень усредненного фонового содержания оксида углерода практически соответствует средним значениям по данным Росгидромета, в отличие от оксида азота, диоксида азота и пыли, усредненное фоновое содержание которых ниже средних значений по данным Росгидромета в 2-7 раз (на основании данных документа «Обзор состояния загрязнения атмосферного воздуха в г. Белгороде за 2017 год»).

Было выявлено, что доля ПДК_{мр} таких загрязнителей приземного слоя атмосферного воздуха, как оксид углерода, соединения свинца, наиболее высокая на ключевом участке №1, расположенном в северной части города, и составляет 0,41 и 0,16 ПДК_{мр} соответственно. Содержание NO₂ наиболее высокое на ключевом участке №3, расположенном в южной части города и составляет 0,2 ПДК_{мр}. Содержание NO наиболее высокое на ключевых участках №1, №3 и составляет 0,03 ПДК_{мр}. Содержание пыли приблизительно одинаковое на всех ключевых участках и составляет 0,05 ПДК_{мр}. Несмотря на то, что не наблюдалось превышение усредненного показателя ПДК_{мр} по данным веществам, в отдельные дни проведения наблюдений отмечалось превышение ПДК_{мр} по оксиду углерода в 1,5 раза и по диоксиду азота в 2,2 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианов В.А. Метод коррекции расчетных полей загрязнения воздуха выбросами автотранспорта с использованием данных мониторинга атмосферы: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – СПб, 2006. – 24 с.
2. Аннотация к книге «Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации: Охрана окружающей среды (Том 1)» [Электронный ресурс]. – URL: <http://airspot.ru/library/book/ikao-prilozhenie-16-k-konventsii-o-mezhdunarodnoy-grazhdanskoj-aviatsii-ohrana-okruzhayuschey-sredy-tom-1> (дата обращения 27.01.2017).
3. Антропов К.М., Казмер Ю.И., Вараксин А.Н. Описание пространственного распределения загрязнения атмосферного воздуха промышленного центра методом Land Use Regression (обзор) // Экологические системы и приборы. – 2010. – № 1. – С. 28-41.
4. Антропов К.М. Математические модели загрязнения атмосферного воздуха мегаполиса и промышленного центра выбросами автотранспорта и промышленных предприятий: дис... канд. ф.-м. наук. – Екатеринбург, 2012. – 139 с.
5. Антропов К.М., Вараксин А.Н. Методология описания загрязнения атмосферного воздуха Екатеринбурга диоксидом азота методом land use regression // Гигиена и санитария. – 2013. – № 2. – С. 102-104.
6. Аргучинцева А.В., Аргучинцев В.К., Лазарь О.В. Оценка загрязнения воздушной среды автотранспортом // География и природные ресурсы. – 2009. – № 1. – С. 131-137.
7. Венская конвенция об охране озонового слоя [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Венская_конвенция_об_охране_озонового_слоя (дата обращения 27.01.2017).
8. Воздействие передвижных источников на качество атмосферного воздуха городов / О.С. Егорова, Э.В. Гоголь, Р.Р. Шипилова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – №16. – С. 71-74.

9. Волкодаева М.В. Научно-методические основы оценки воздействия автотранспорта на атмосферный воздух: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – СПб, 2009. – 35 с.
10. Гордеев Л.Ю., Корнилов А.Г., Полетаев А.О. О влиянии автотранспорта на загрязнение атмосферного воздуха в горнопромышленных и селитебных районах региона КМА // Научные ведомости БелГУ. – 2015. – № 9 (206). – С. 168-175.
11. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: Либроком, 2009.
12. Зиброва Н.В. Геоэкологическая оценка кумулятивного эффекта локального загрязнения приземного слоя воздуха: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Воронеж, 2005. – 23 с.
13. Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) [Электронный ресурс]. – URL: <http://moreprom.ru/article.php?id=56> (дата обращения 18.05.2018).
14. Информация о целевой группе по химически активному азоту в составе рабочей группы по стратегиям и обзорам конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния Европейской Экономической Комиссии ООН [Электронный ресурс]. – URL: <http://spb.sznii.ru/tfrn.html> (дата обращения 27.01.2017).
15. Картограмма автомобилепотоков в «час пик» г. Белгорода 2016 г. УП «Белниипградостроительства» [Электронный ресурс]. – URL: <http://irup.by/> (дата обращения 01.02.2018).
16. Киотский протокол [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Киотский_протокол (дата обращения 14.12.2017).
17. Миронов А.А. Изучение загрязнения атмосферного воздуха от автотранспортных потоков в условиях городских территорий: на примере города Чебоксары Чувашской Республики: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Чебоксары, 2009. – 14 с.
18. Новости высоких технологий. Исследования. Загрязнение воздуха убивает 5,5 миллиона человек в год [Электронный ресурс]. – URL: <https://hi->

news.ru/research-development/zagryaznenie-vozduxa-ubivaet-55-milliona-chelovek-v-god.html (дата обращения 26.01.2017).

19. Нуман Н.Л. Исследование и разработка методов регулирования загрязнения городского воздуха, вызванного автомобильным транспортом: автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. – СПб, 1996. – 12 с.

20. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами автотранспорта [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfiles.net/preview/1798671/page:6/> (дата обращения 01.02.2018).

21. Парижское соглашение (2015) [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Парижское_соглашение_\(2015\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Парижское_соглашение_(2015)) (дата обращения 14.12.2017).

22. Полетаев А.О., Корнилов А.Г. Проблемы оценки экологического состояния воздуха // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. – 2017. – Т. 38. – № 4 (253). – С. 126-132.

23. Полуэктова М.М. Метод оценки загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом с использованием геоинформационных систем: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – СПб, 2009. – 23 с.

24. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. М.: Госкомгидромет СССР, 1991. – 693 с.

25. Сидоренко И.В. Совершенствование методологии комплексной оценки загрязнения воздушного бассейна крупного города для обоснования мониторинга и системы контроля: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2008. – 20 с.

26. Система государственного мониторинга состояния и загрязнения атмосферного воздуха [Электронный ресурс]. – URL: <http://refleader.ru/jgernajgejgebew.html> (дата обращения 12.12.2017).

27. Словарь «Что есть что в мировой политике». Рамочная конвенция об изменении климата (РКИК ООН) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.wehse.ru/cgi-bin/wpg/wehse_wpg_show_text_print.pl?term1304500755 (дата обращения 27.01.2017).

28. Смирнова И.В. Методология оценки достоверности и интерпретация результатов наблюдений за концентрациями примесей в атмосфере городов России: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – СПб, 2007. – 20 с.

29. Федеральный закон "Об охране атмосферного воздуха" [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/ (дата обращения 12.12.2017).

30. Филатова Е.Н. Моделирование загрязнения атмосферы по оперативным данным: автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. – СПб, 2005. – 20 с.

31. Якушев А.Б. Геоэкологическая оценка воздействия автотранспортного комплекса на воздушный бассейн промышленно развитых городов Центрального Черноземья: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Воронеж, 2012. – 24 с.

32. A modeling the intraurban variability of ambient traffic pollution in Toronto, Canada / M. Jerrett, M.A. Arain, P. Kanaroglou [et al.] // J. Toxicol. Environ. Health. – 2007. – Vol. 70. – P. 200-212.

33. A review of land-use regression models to assess spatial variation of outdoor air pollution / G. Hoek, R. Beelen, K. Hoogh [et al.] // Atmos. Environ. – 2008. – Vol. 42. – P. 7561-7578.

34. Atmospheric dispersion modeling [Электронный ресурс]. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_dispersion_modeling (дата обращения 02.02.2017).

35. Canada-United States Air Quality Agreement [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=En&n=83930AC3-1> (дата обращения 27.01.2017).

36. Committee on Air Quality Management in the United States [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nap.edu> (дата обращения 18.05.2017).

37. Comparison of modeled traffic exposure zones using on-road air pollution measurements / M. Shaibal, S. Luther, B. Halley [et al.] // Atmospheric Pollution Research. – 2015. – Vol. 6 (1). – P. 82-87.

38. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution [Электронный ресурс]. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Convention_on_Long-Range_Transboundary_Air_Pollution (дата обращения 13.12.2017).
39. Cote I., Samet J., Vandenberg J.J. Air Quality Management: Local, Regional and Global Approaches // *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. – 2008. – Vol. 71. – P. 63-73.
40. Directive 2003/4/EC of the European Parliament and of the Council of 28 January 2003 on public access [Электронный ресурс]. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32003L0004&from=EN> (дата обращения 13.12.2017).
41. Effects of reduction in NO_x on the NO₂ levels in urban streets / F. Palmgren, R. Berkowicz, O. Hertel [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 1996. – Vol. 189 (190). – P. 409-415.
42. Finding better ways to achieve cleaner air [Электронный ресурс]. – URL: https://www.aei.org/publications/pubic.21225/pub_detail.asp (дата обращения 18.05.2017).
43. Gemmer M., Xiao B. Air Quality Legislation and Standards in the European Union: Background, Status and Public Participation // *Advances in Climate Change Research*. – 2013. – Vol. 4. – P. 50-59.
44. Habermann M., Billgera M., Haeger-Eugensson M. Land use Regression as Method to Model Air Pollution. Previous Results for Gothenburg/Sweden // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 115. – P. 21-28.
45. High resolution multi-scale air quality modelling for all streets in Denmark / S. Jensen, M. Ketzel, T. Becker [et al.] // *Transportation Research Part A*. – 2017. – Vol. 52. – P. 322-339.
46. Jin Y., Andersson H., Zhang Sh. Air Pollution Control Policies in China: A Retrospective and Prospects // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2016. – Vol. 13. – P. 1219-1241.
47. Official CALPUFF Modeling System [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.src.com/> (дата обращения 03.02.2017).

48. Press conference: Pursuing green development [Электронный ресурс]. – URL: http://www.china.org.cn/china/2017-10/27/content_41802605_2.htm (дата обращения 12.12.2017).

49. Same dream, different beds: Can America and China take effective steps to solve the climate problem? / J. Bi, O.R. Young, R. Costanza [et al.] // *Glob. Environ. Chang.* – 2014. – Vol. 24. – P. 2-4.

50. Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic / Y. Zhu, W.C. Hinds, S. Kim [et al.] // *Atmos. Environ.* – 2002. – Vol. 36. – P. 4323-4335.

51. Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling. Alternative Models [Электронный ресурс]. – URL: https://www3.epa.gov/scram001/dispersion_alt.htm#adms3 (дата обращения 02.02.2017).

52. Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling. Preferred/Recommended Models [Электронный ресурс]. – URL: https://www3.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm#cal3qhc (дата обращения 03.02.2017).

53. The use of wind fields in a land use regression model to predict air pollution concentrations for health exposure studies / M.A. Arain, R. Blair, N. Finkelstein [et al.] // *Atmos. Environ.* – 2007. – Vol. 41. – P. 3453-3464.

54. Why Taking Immediate Action on Climate Change Is in China's Self-Interest [Электронный ресурс]. – URL: http://www.huffingtonpost.com/justin-yifulin/china-climate-change_b_5908594.html (дата обращения 18.05.2018).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Ключевой участок в центральной части города (№2)

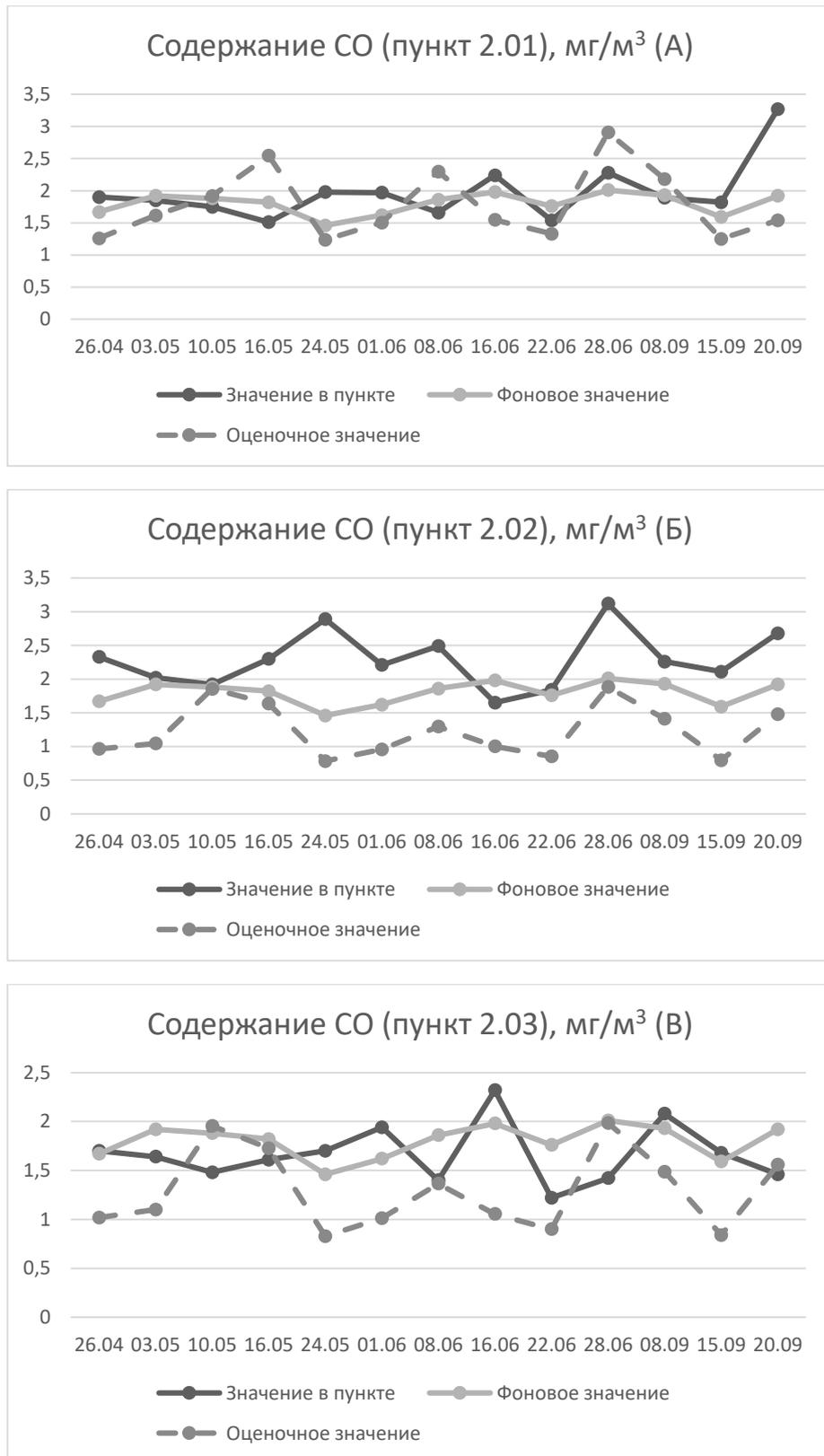


Рис. 1 а-в. Содержание CO (пункты 2.01, 2.02, 2.03)

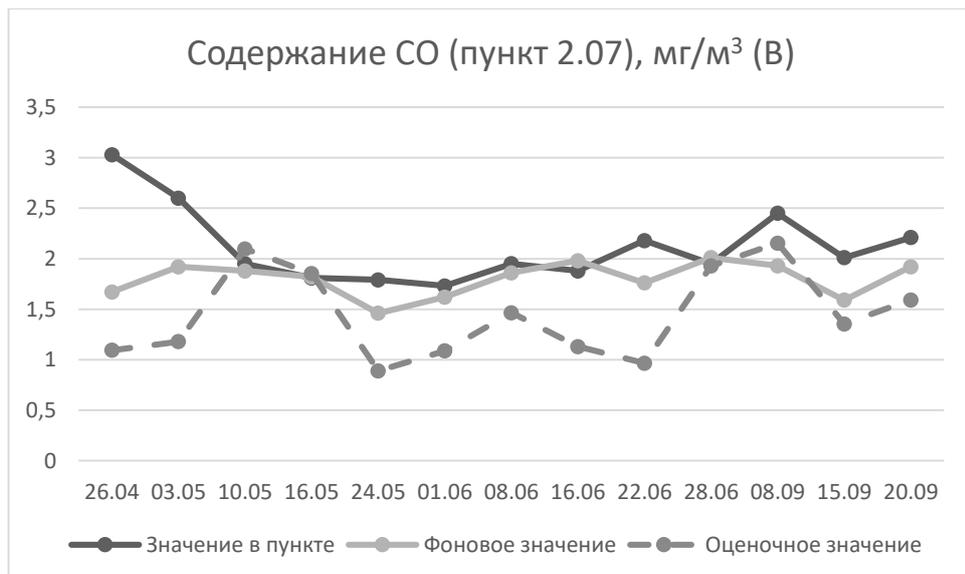
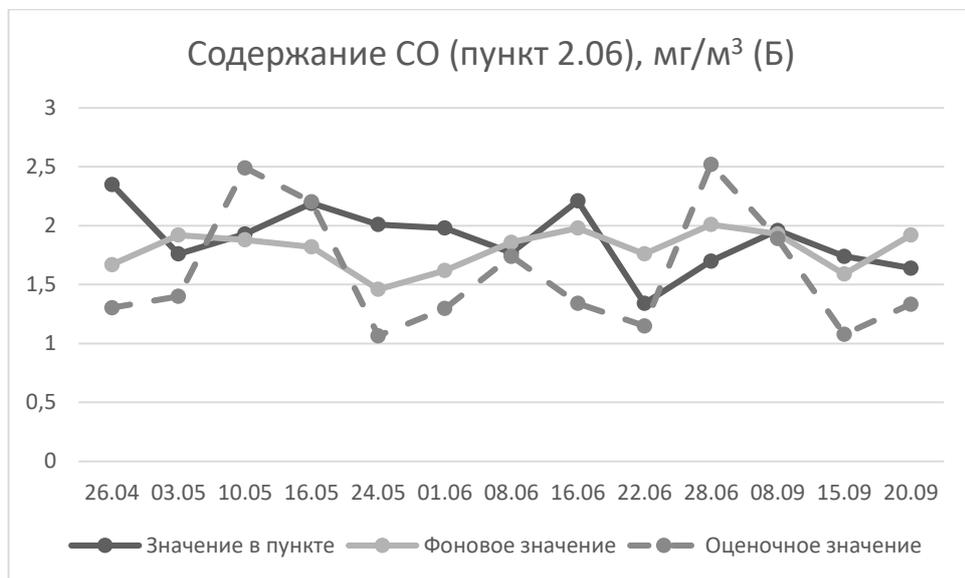
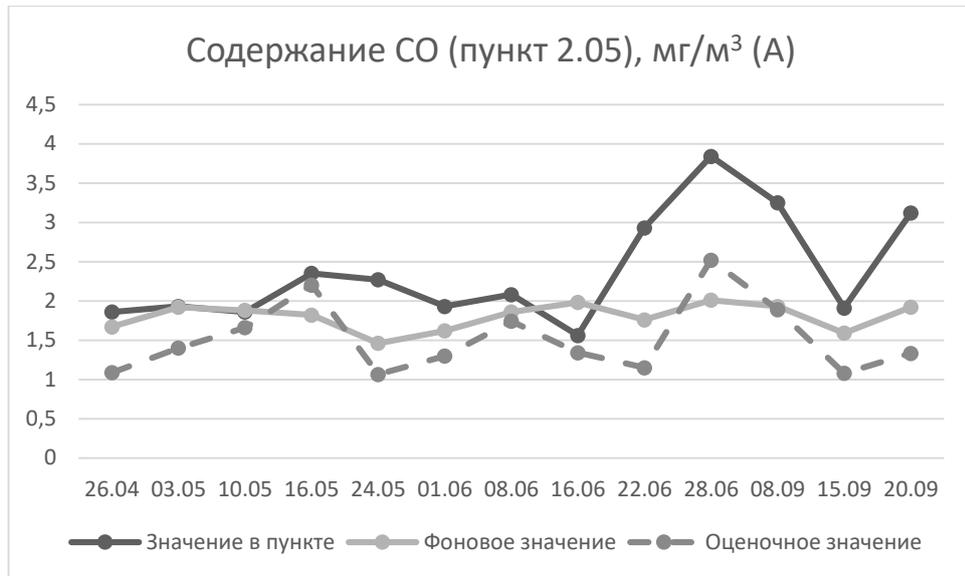


Рис. 2 а-в. Содержание CO (пункты 2.05, 2.06, 2.07)

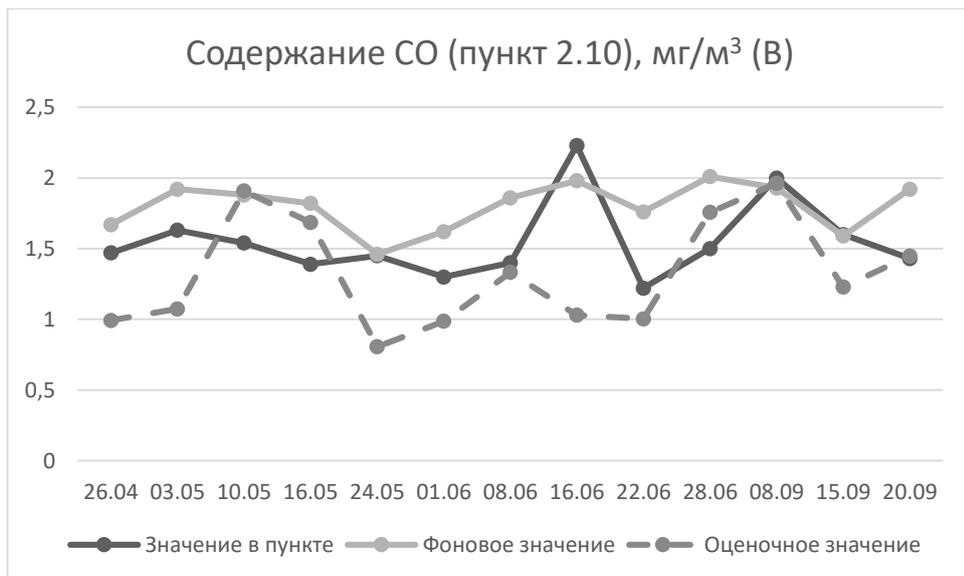
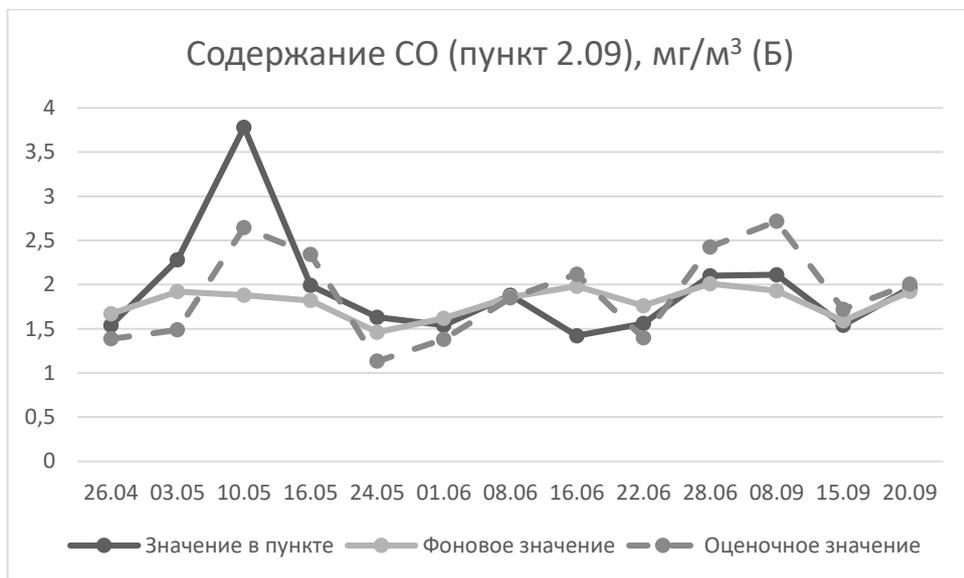
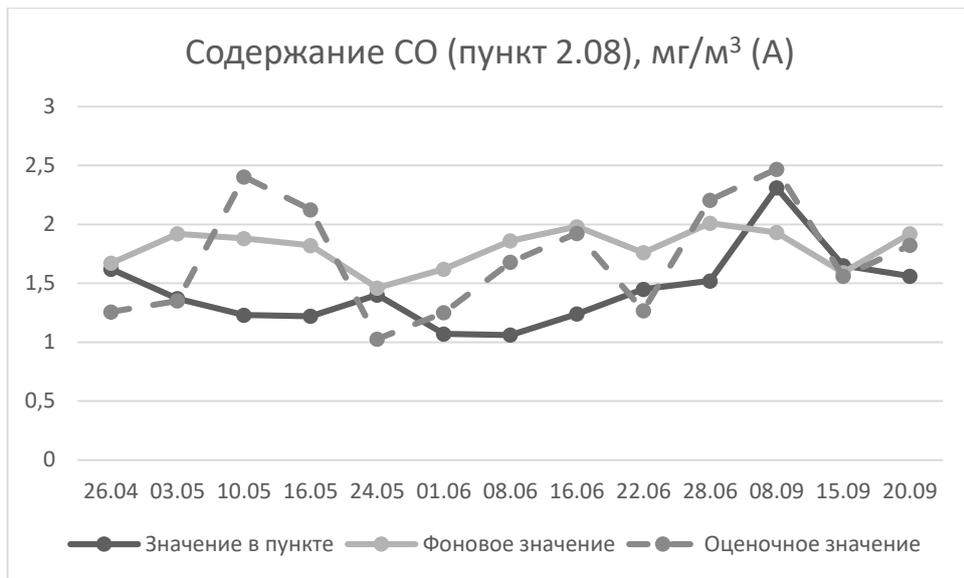


Рис. 3 а-в. Содержание CO (пункты 2.08, 2.09, 2.10)

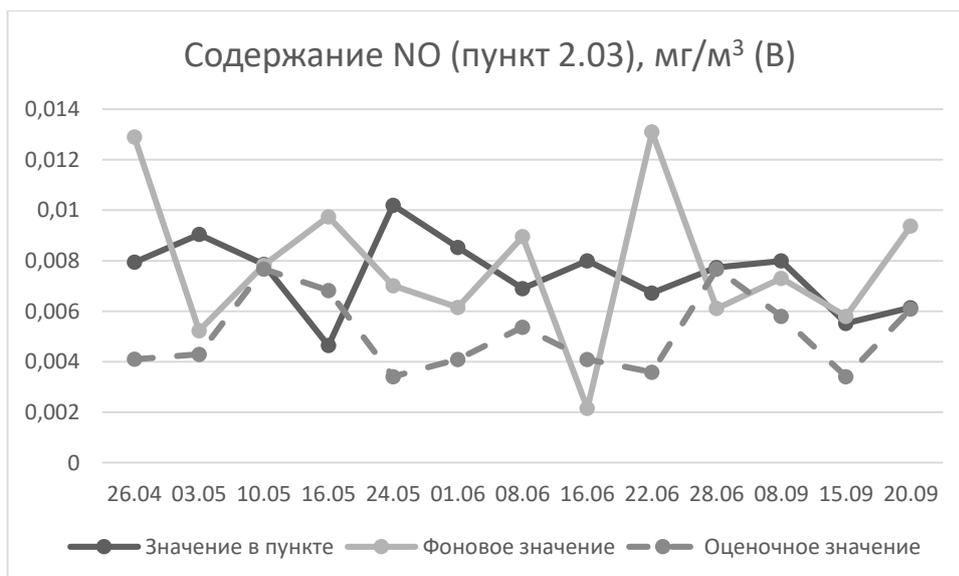
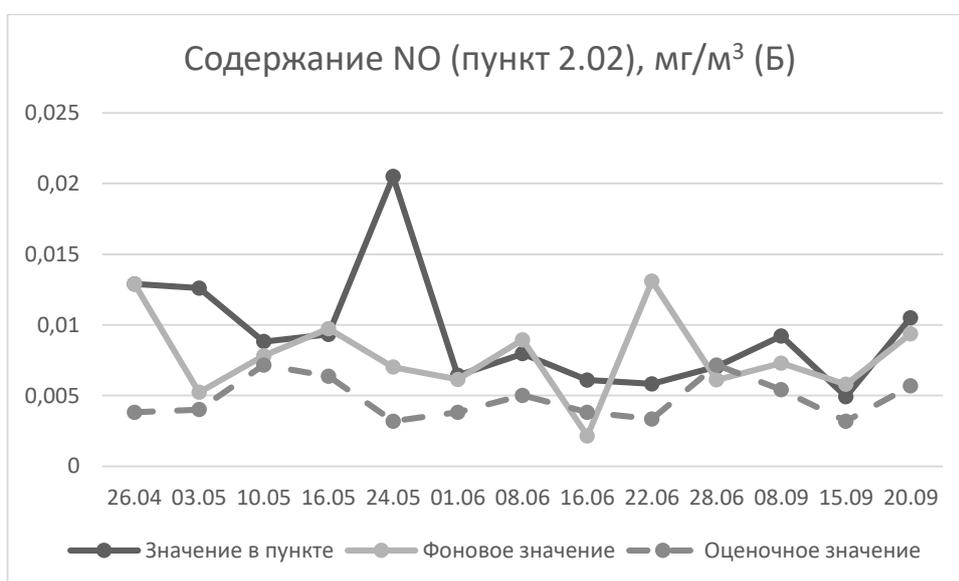
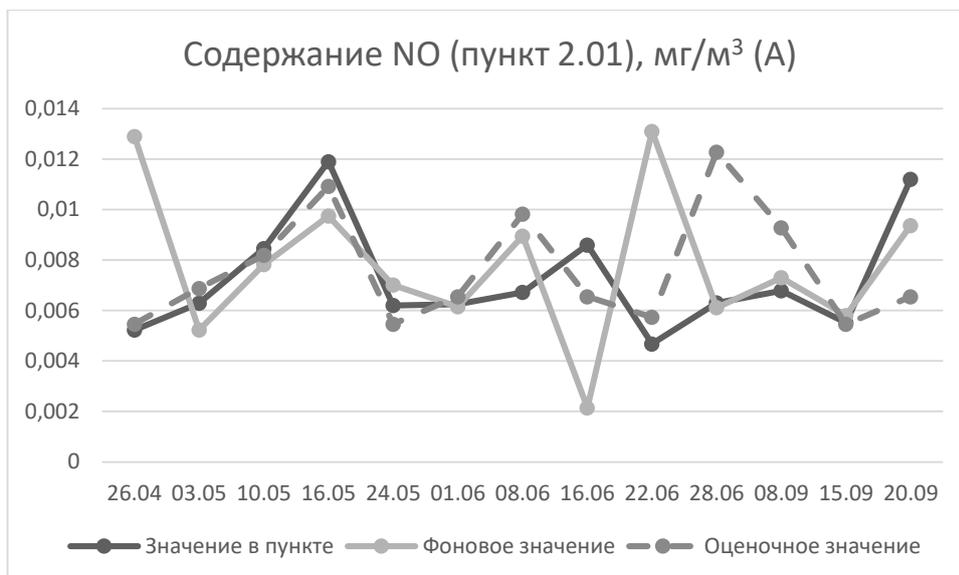


Рис. 4 а-в. Содержание NO (пункты 2.01, 2.02, 2.03)

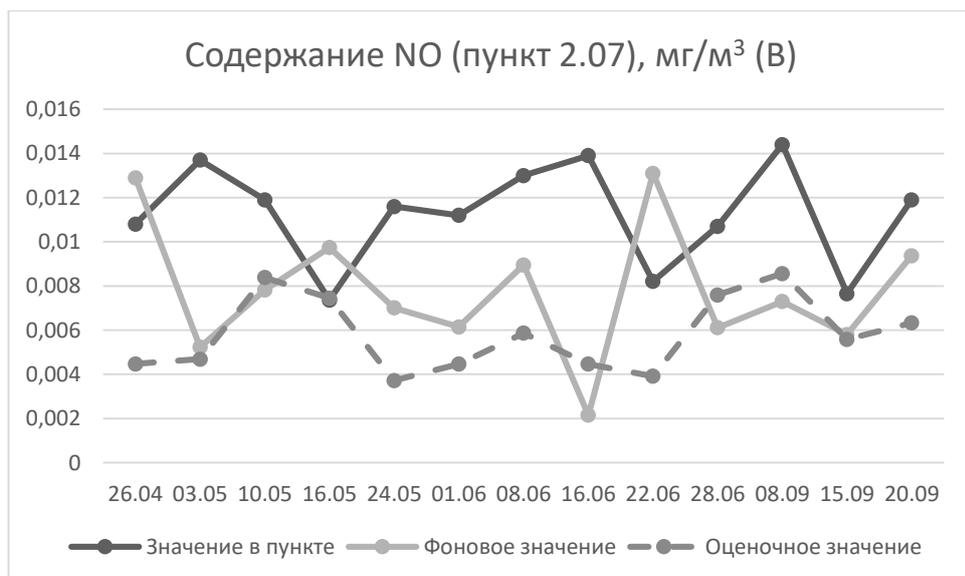
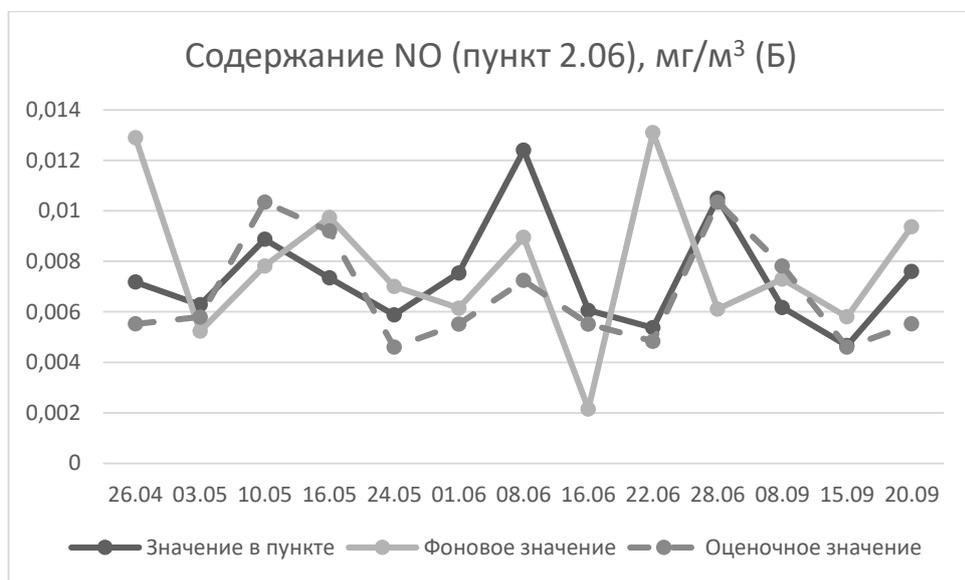
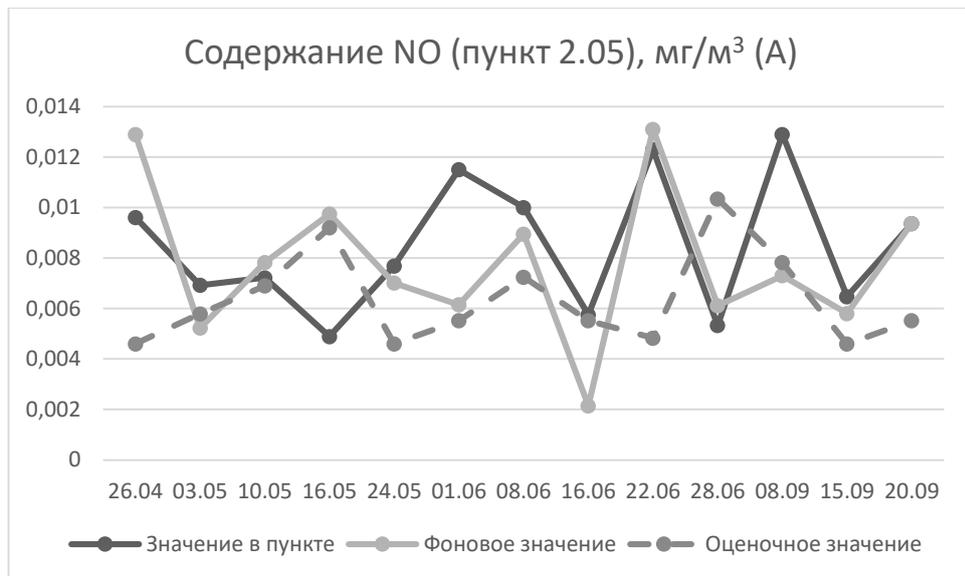


Рис. 5 а-в. Содержание NO (пункты 2.05, 2.06, 2.07)

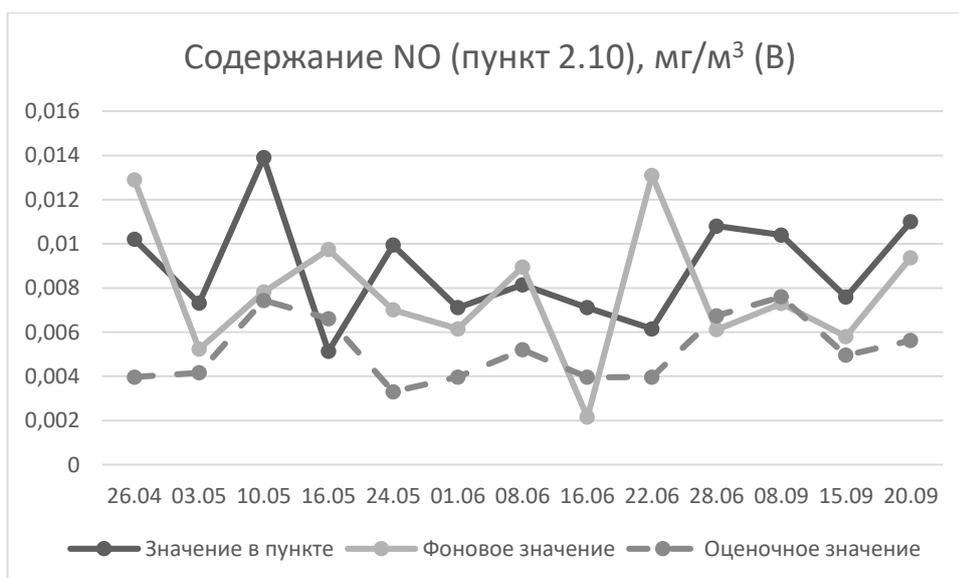
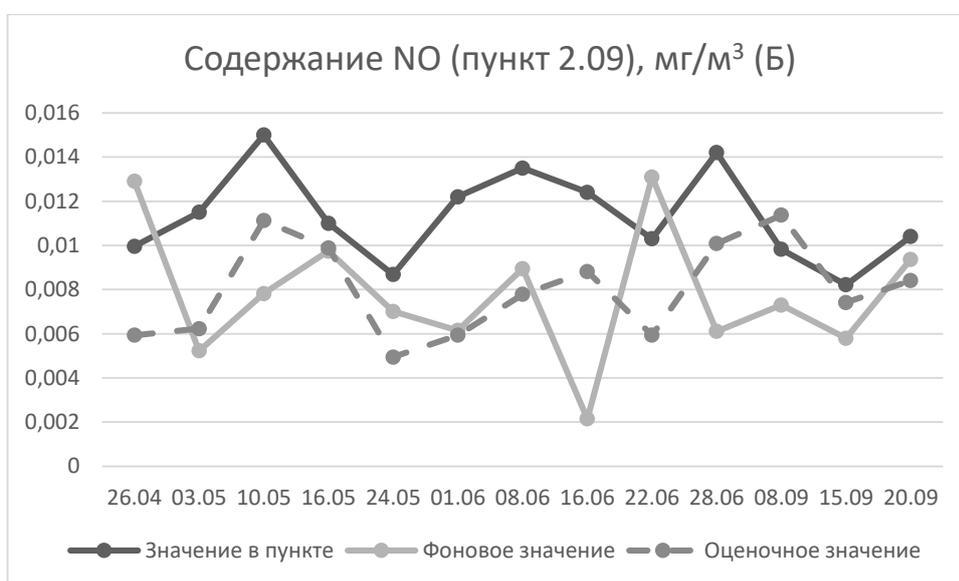
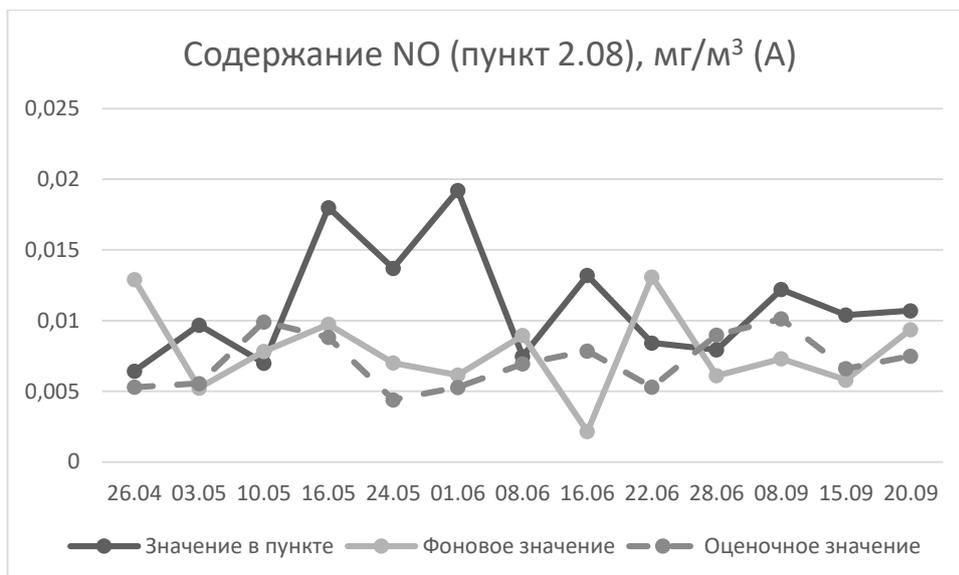


Рис. 6 а-в. Содержание NO (пункты 2.08, 2.09, 2.10)

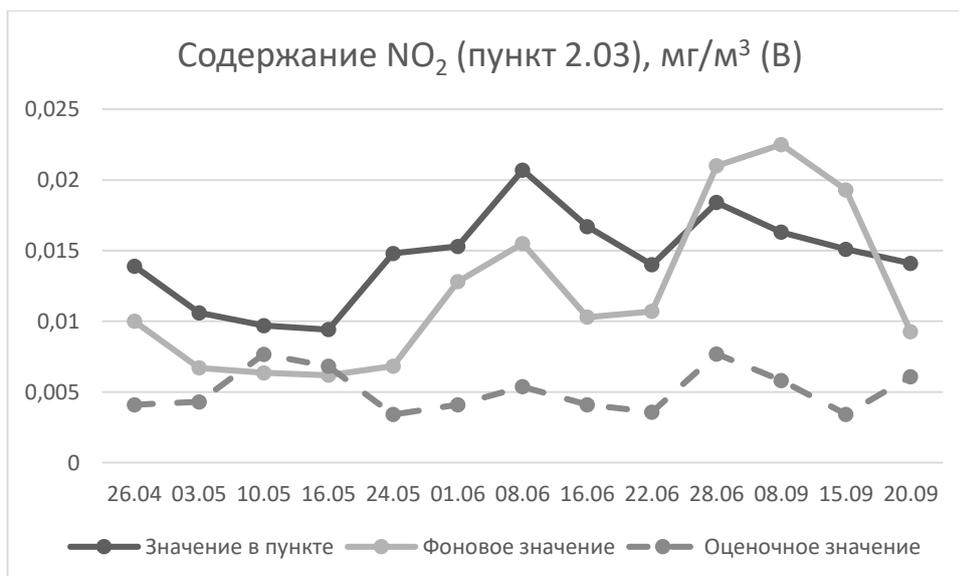
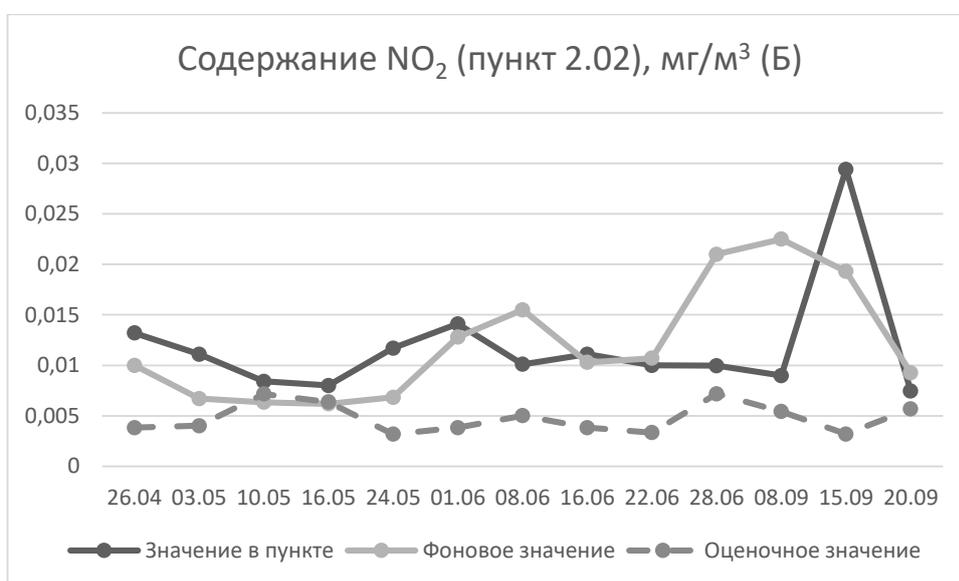
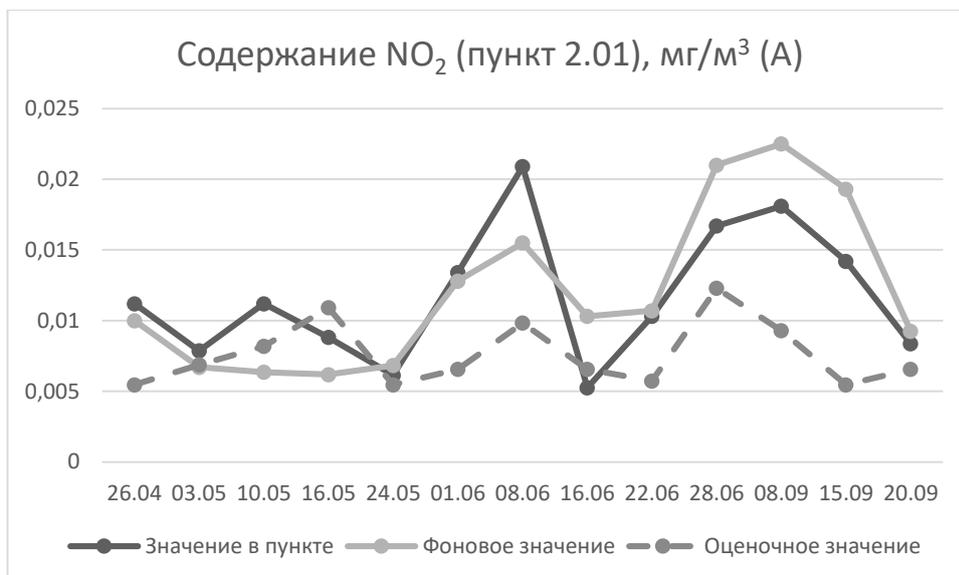


Рис. 7 а-в. Содержание NO₂ (пункты 2.01, 2.02, 2.03)

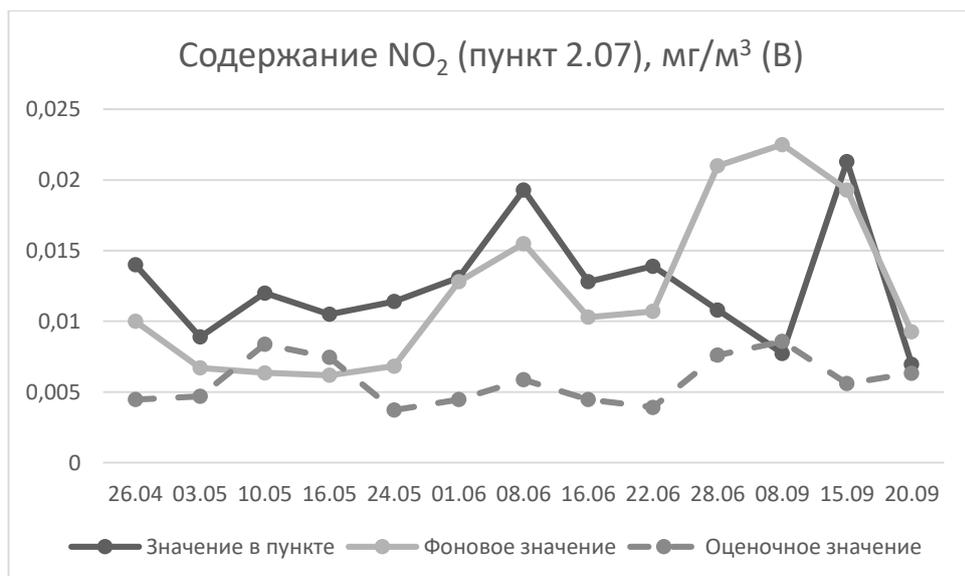
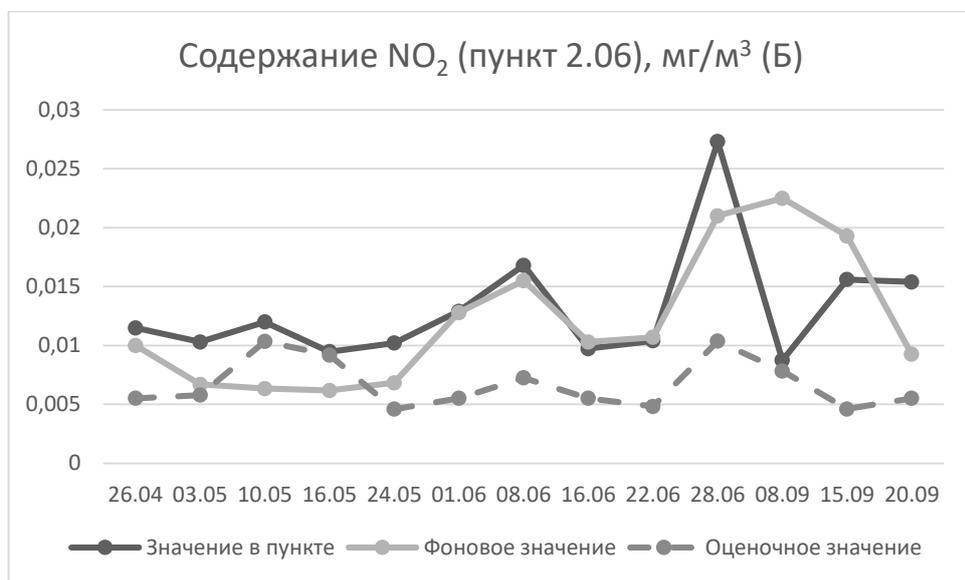
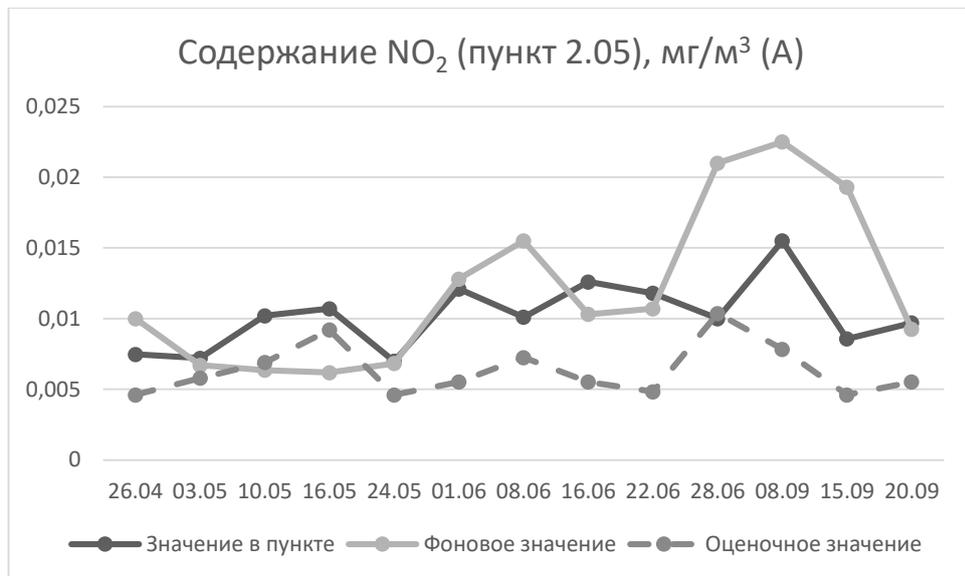


Рис. 8 а-в. Содержание NO₂ (пункты 2.05, 2.06, 2.07)

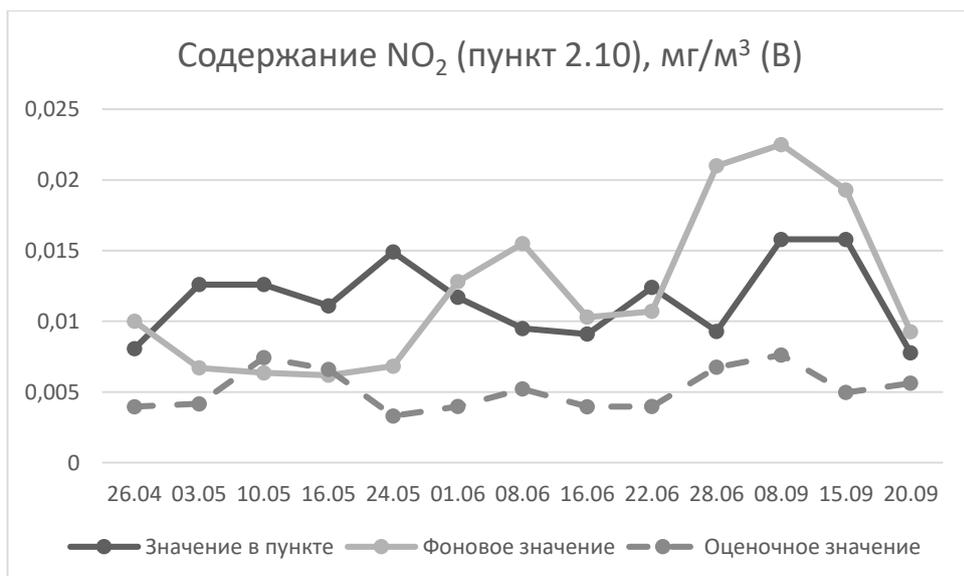
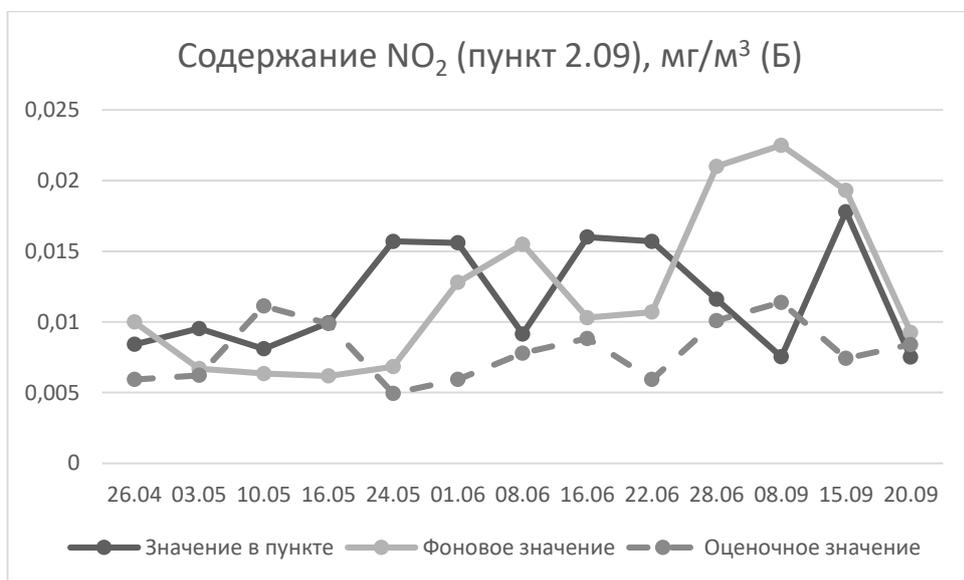
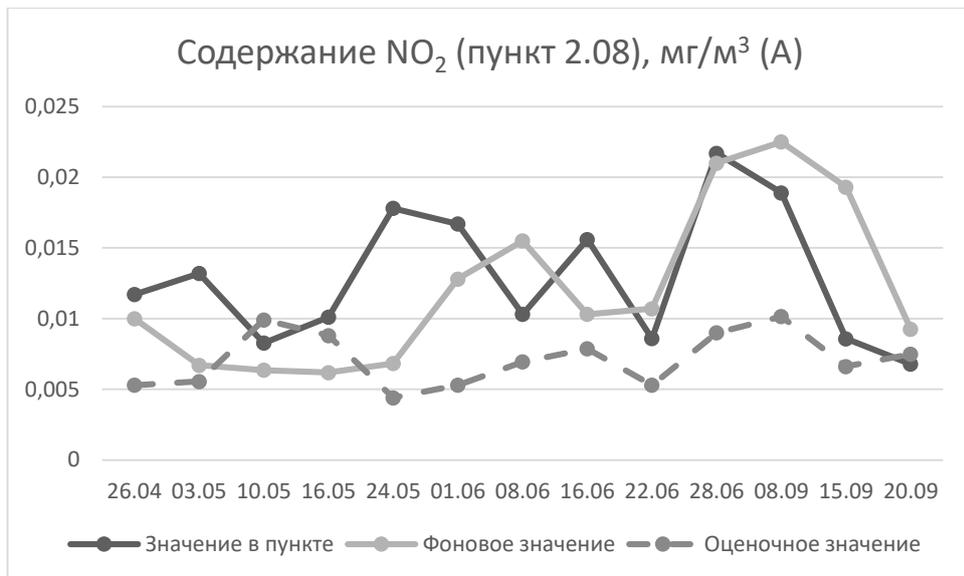


Рис. 9 а-в. Содержание NO₂ (пункты 2.08, 2.09, 2.10)

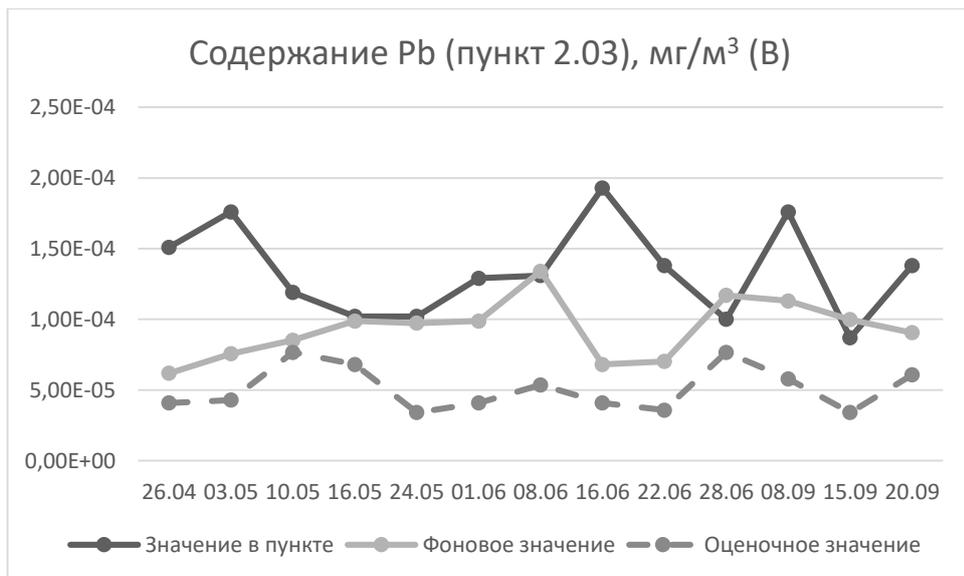
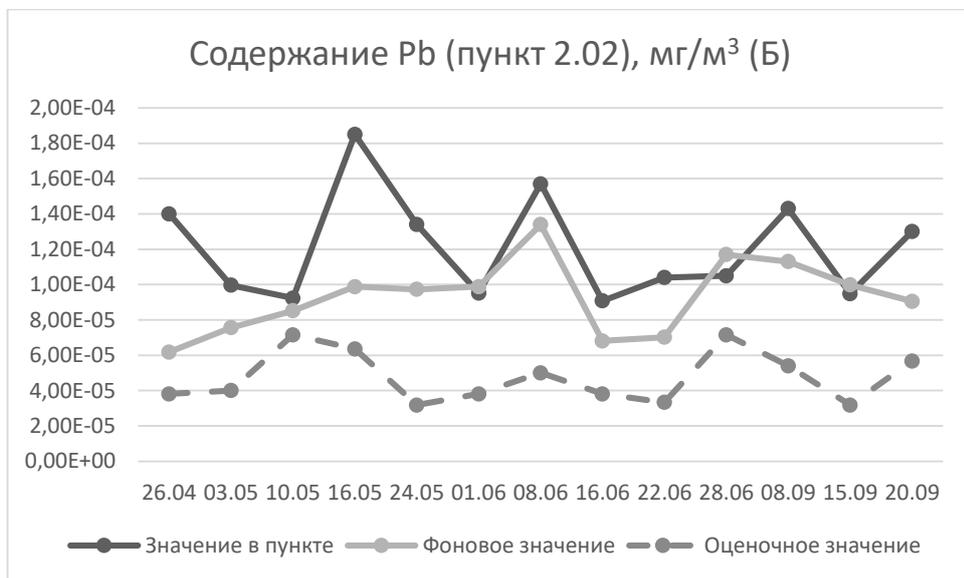
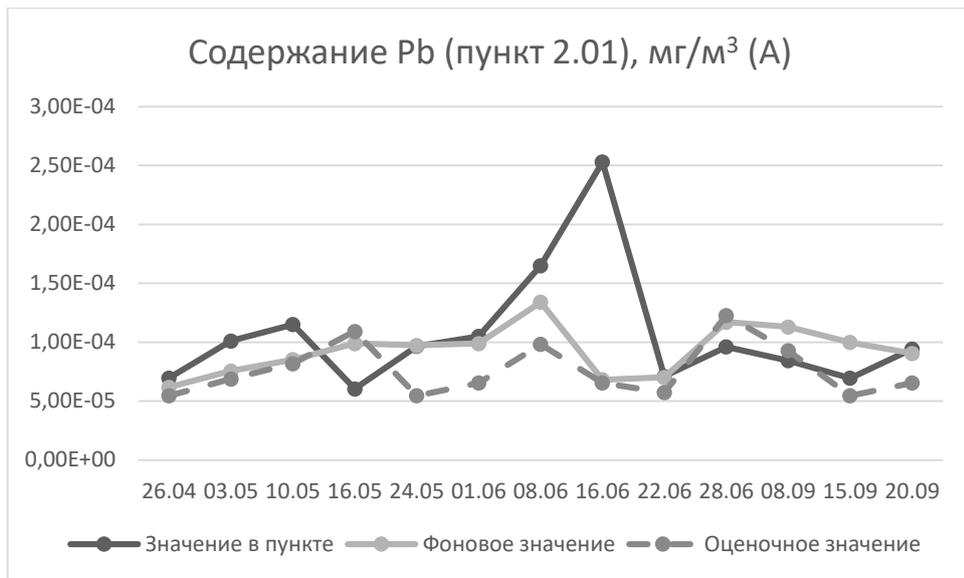


Рис. 10 а-в. Содержание Pb (пункты 2.01, 2.02, 2.03)

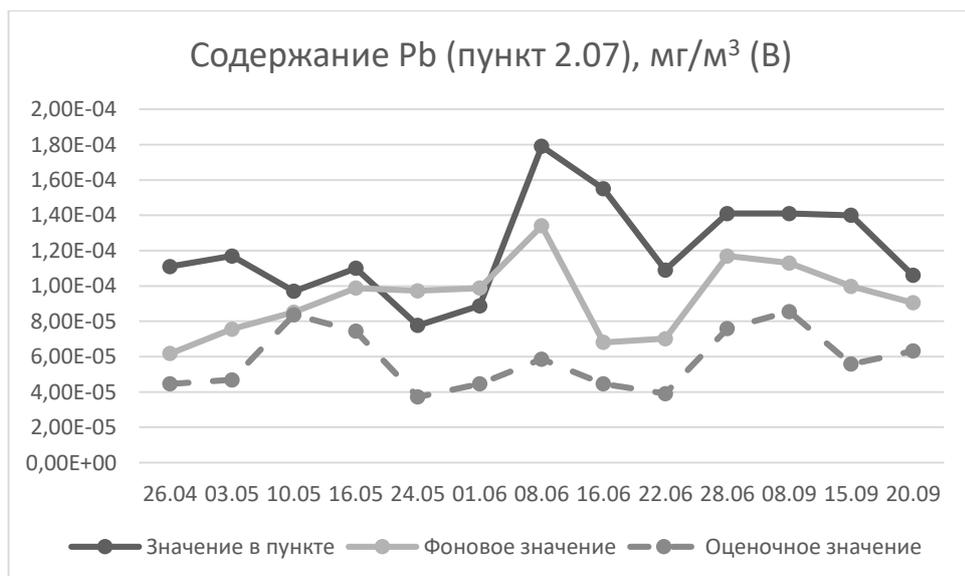
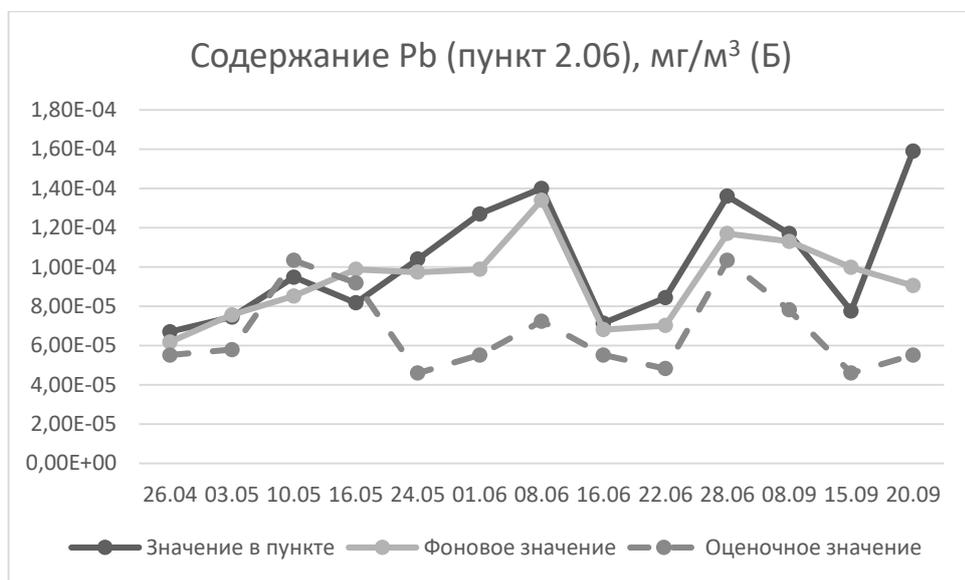
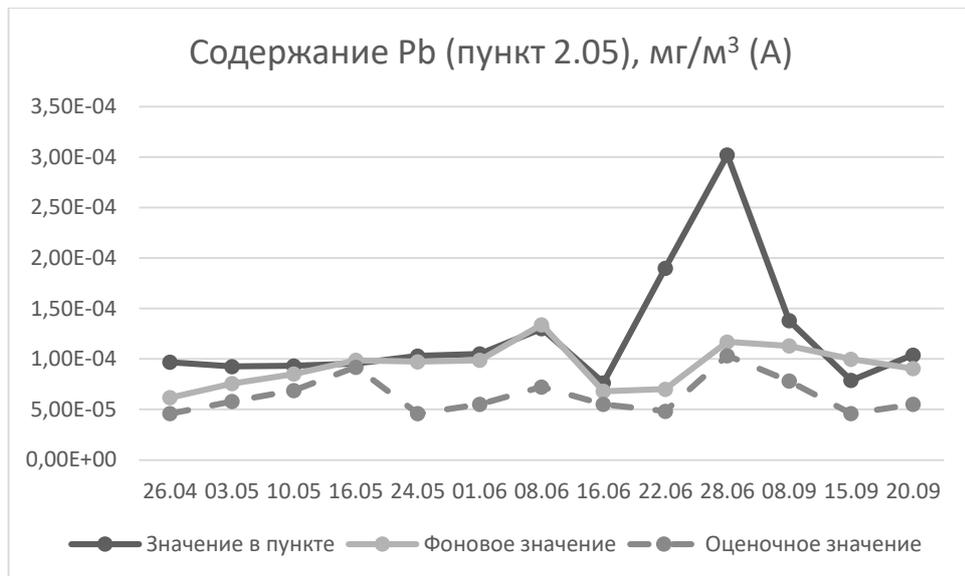


Рис. 11 а-в. Содержание Pb (пункты 2.05, 2.06, 2.07)

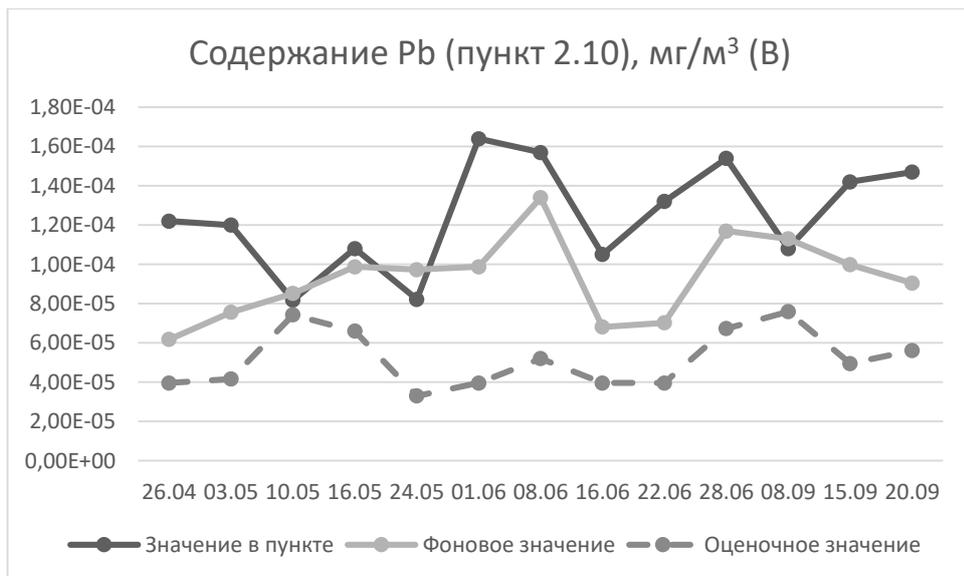
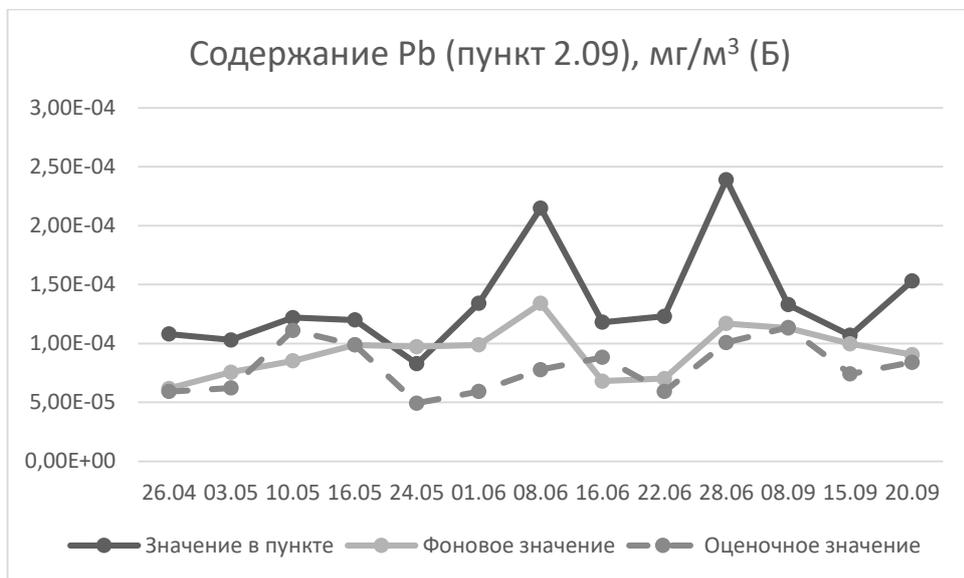
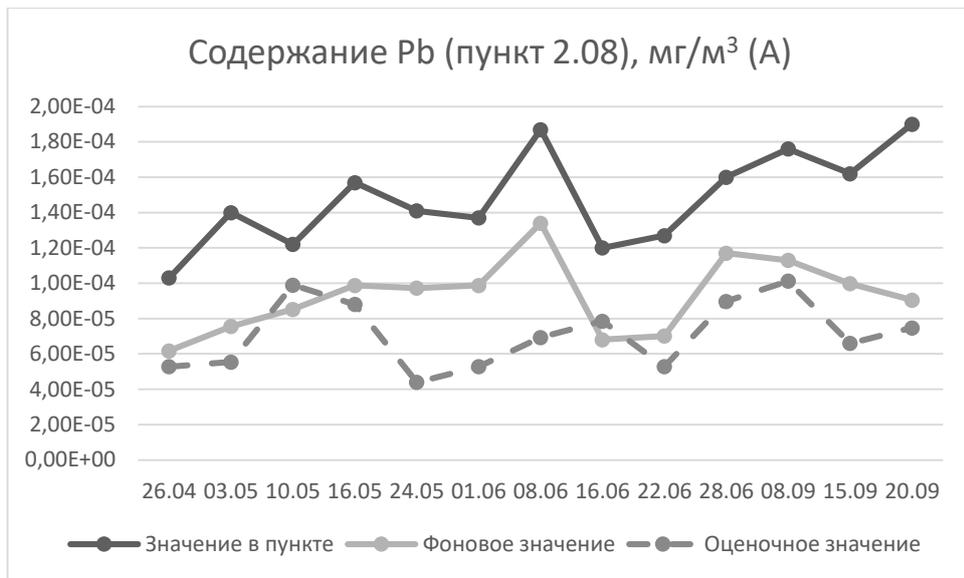


Рис. 12 а-в. Содержание Pb (пункты 2.08, 2.09, 2.10)

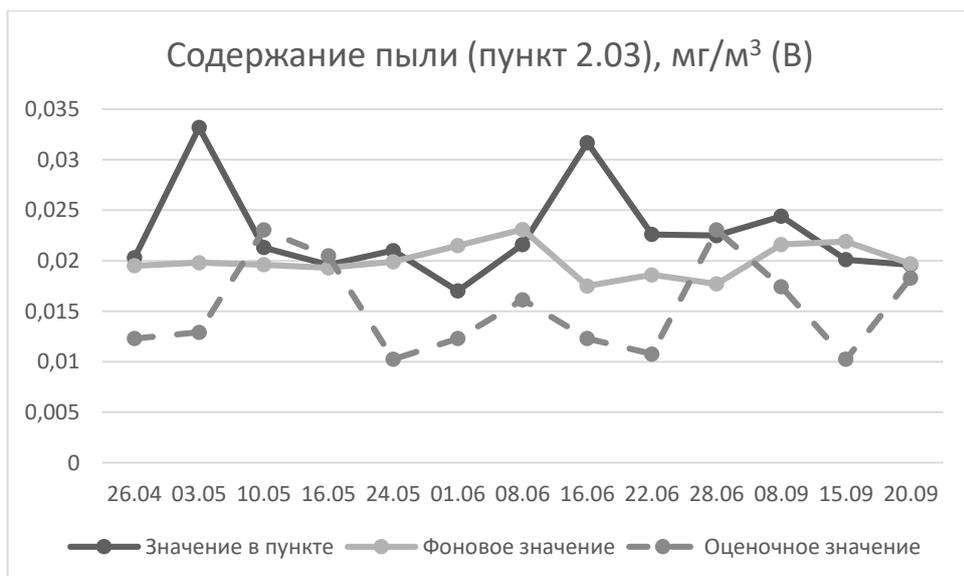
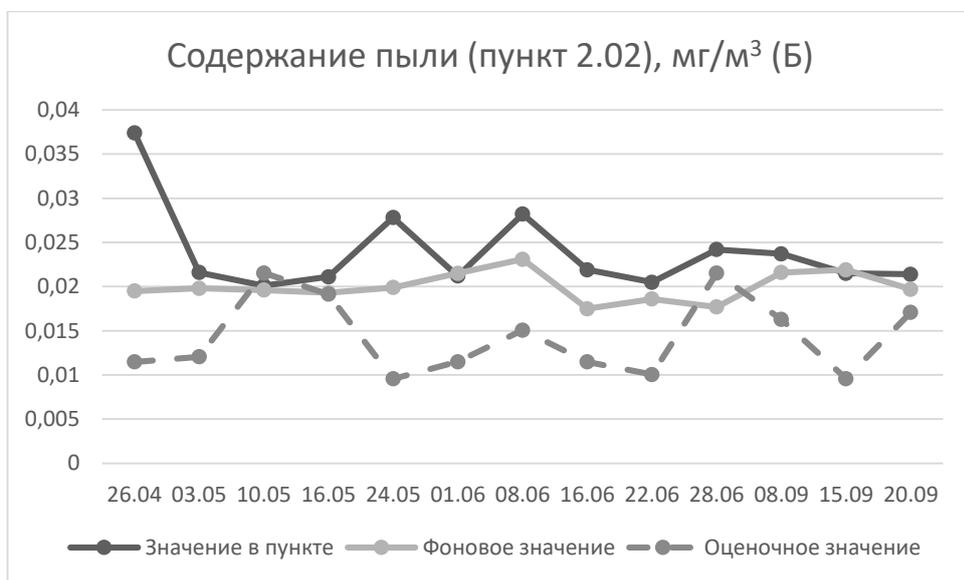
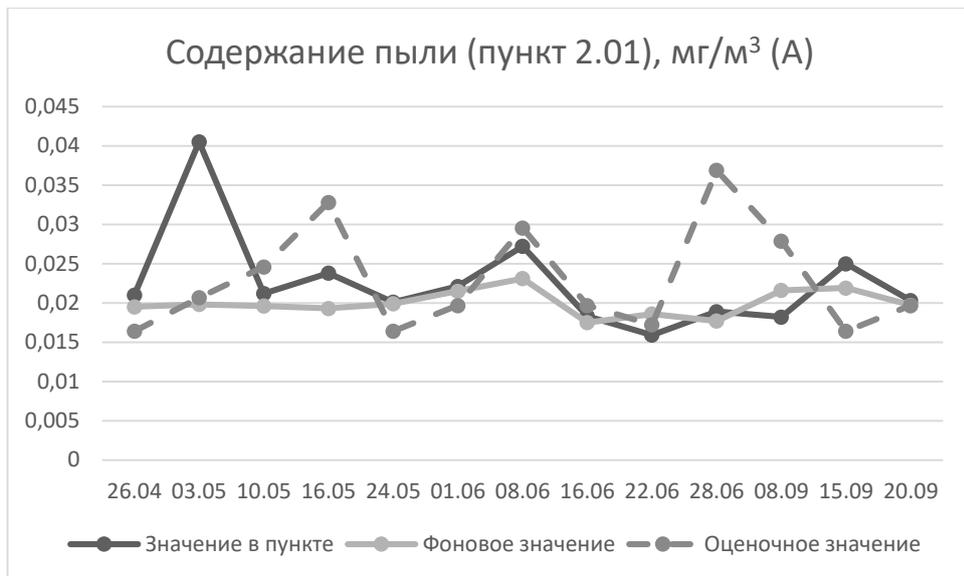


Рис. 13 а-в. Содержание пыли (пункты 2.01, 2.02, 2.03)

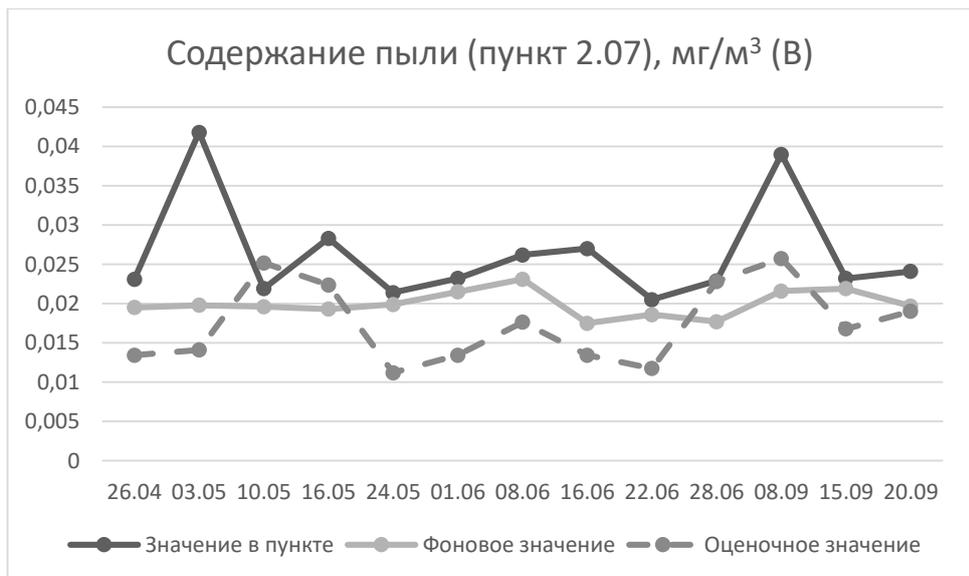
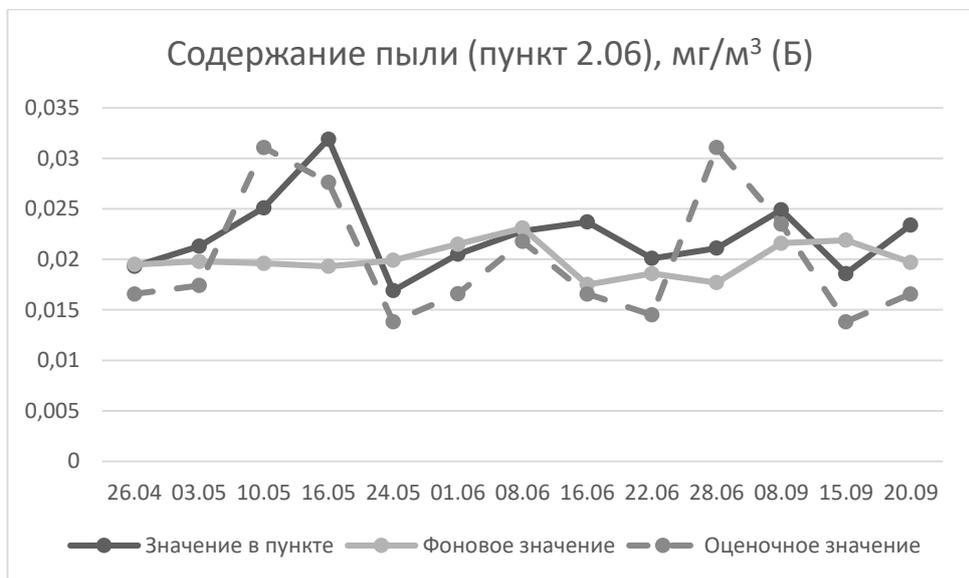
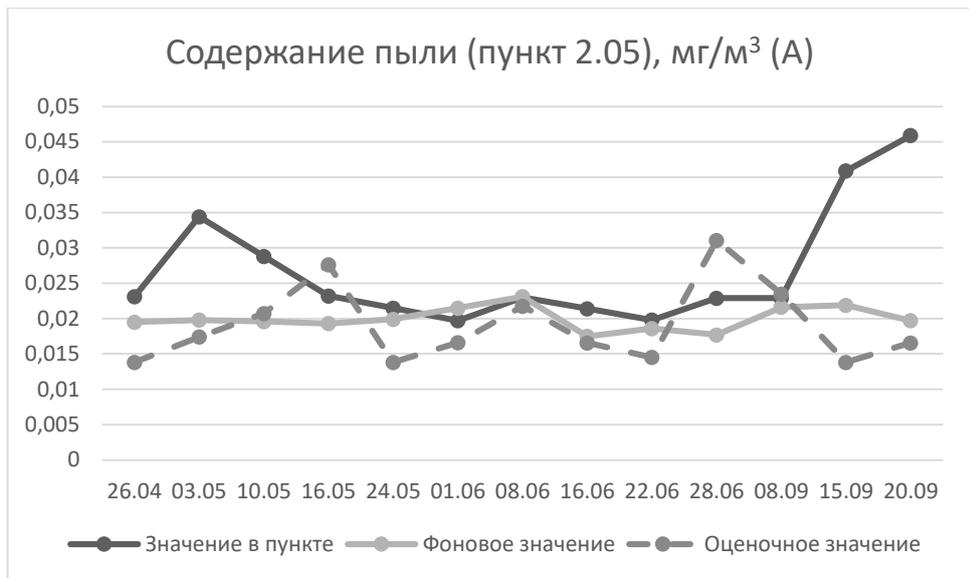


Рис. 14 а-в. Содержание пыли (пункты 2.05, 2.06, 2.07)

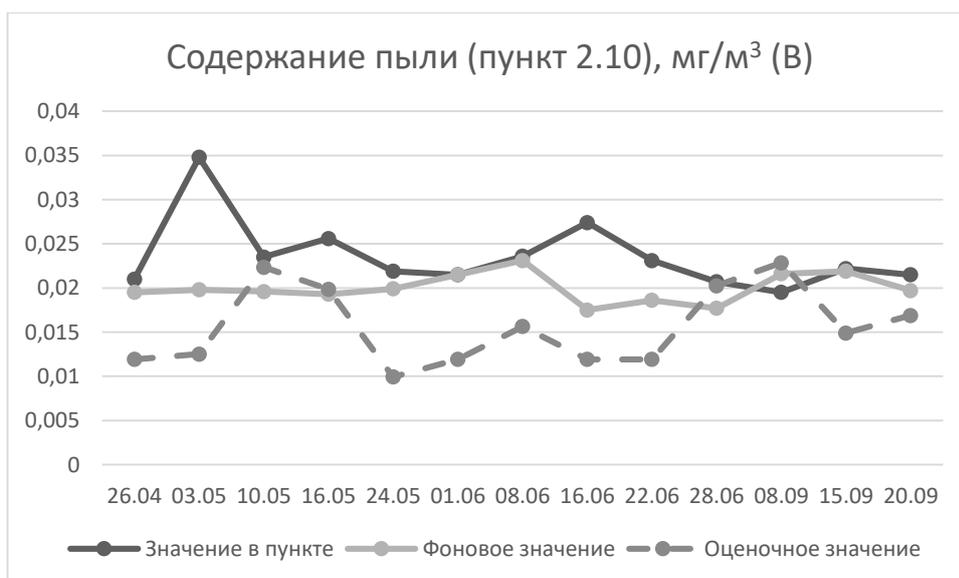
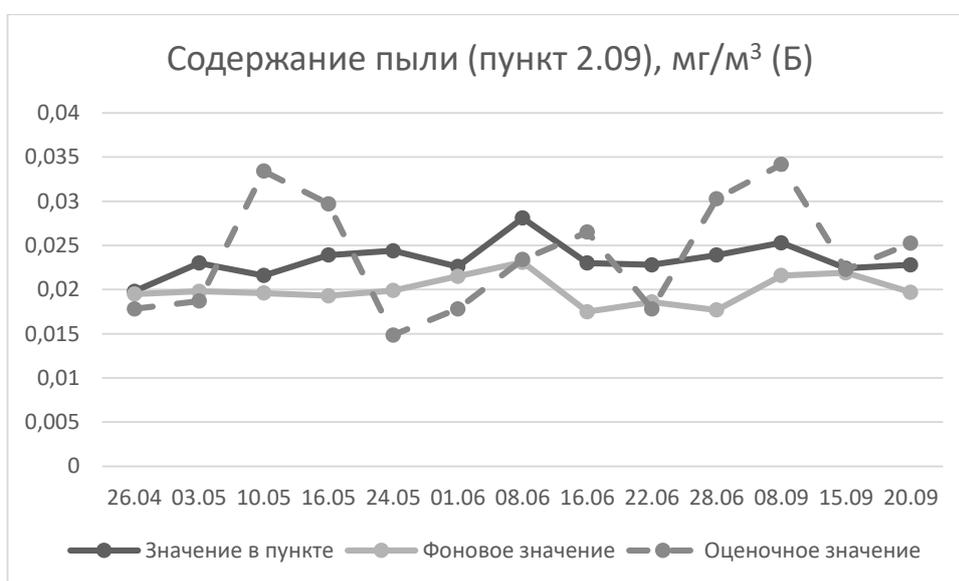
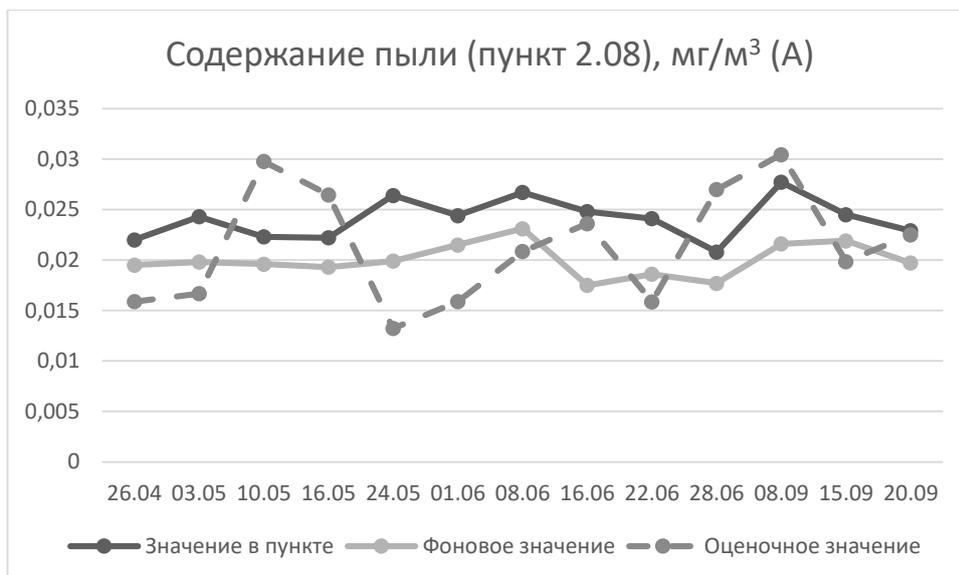


Рис. 15 а-в. Содержание пыли (пункты 2.08, 2.09, 2.10)

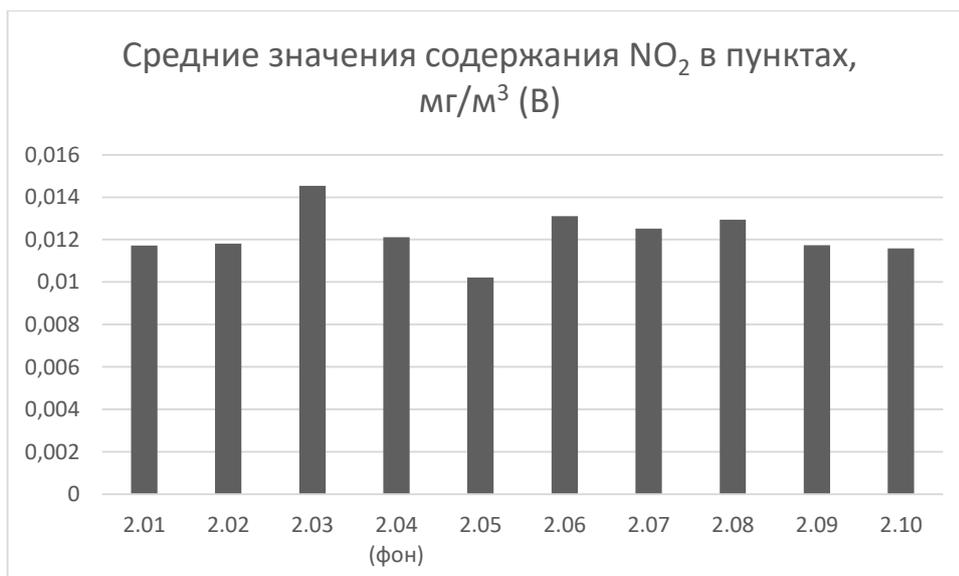
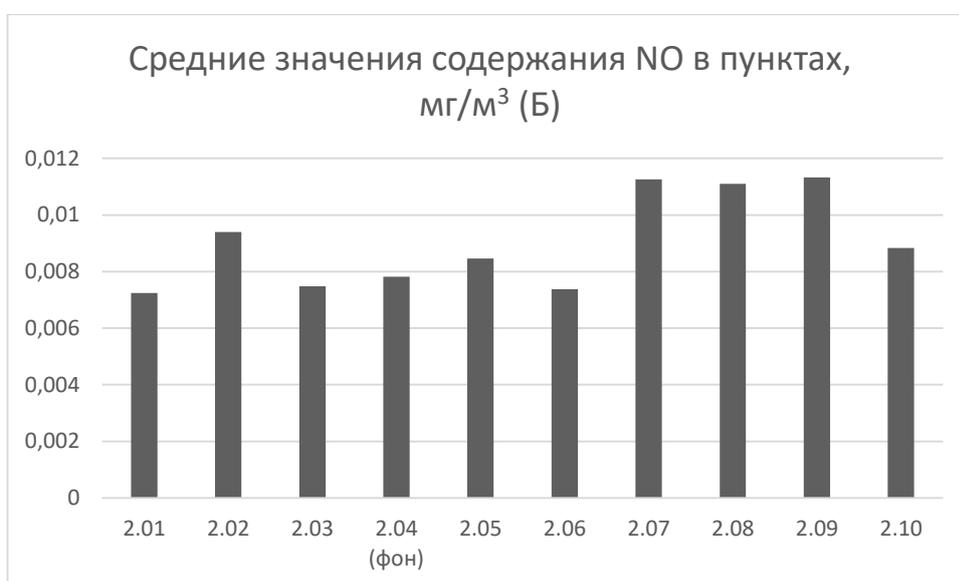
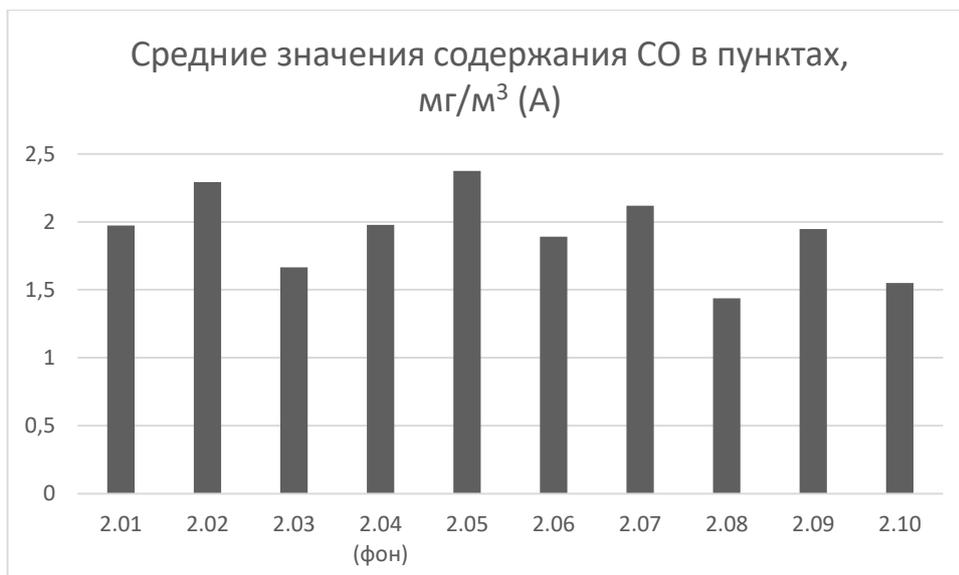


Рис. 16 а-в. Средние значения содержания CO, NO, NO₂ в пунктах

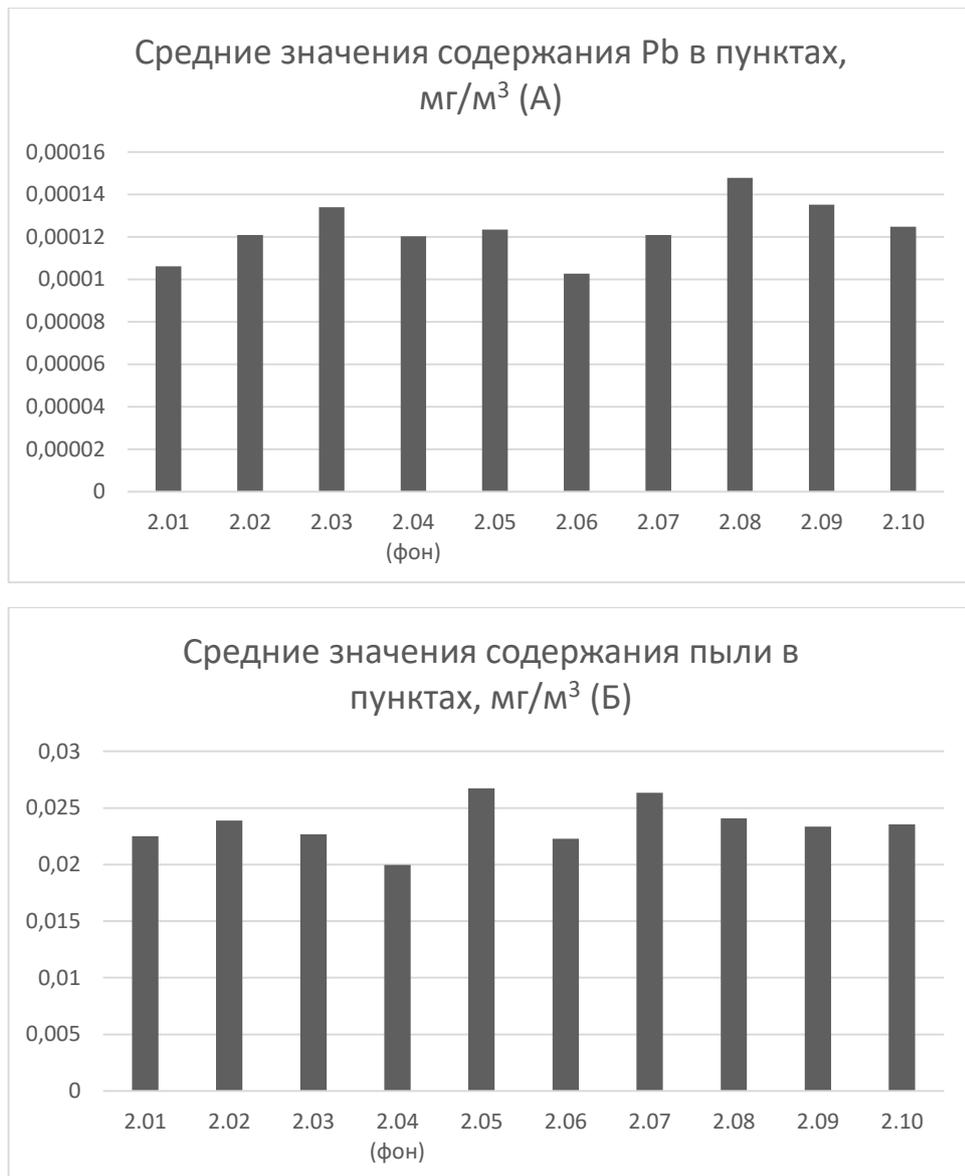


Рис. 17 а, б. Средние значения содержания соединений свинца (Pb) и пыли неорганической в пунктах

Ключевой участок в южной части города (№3)

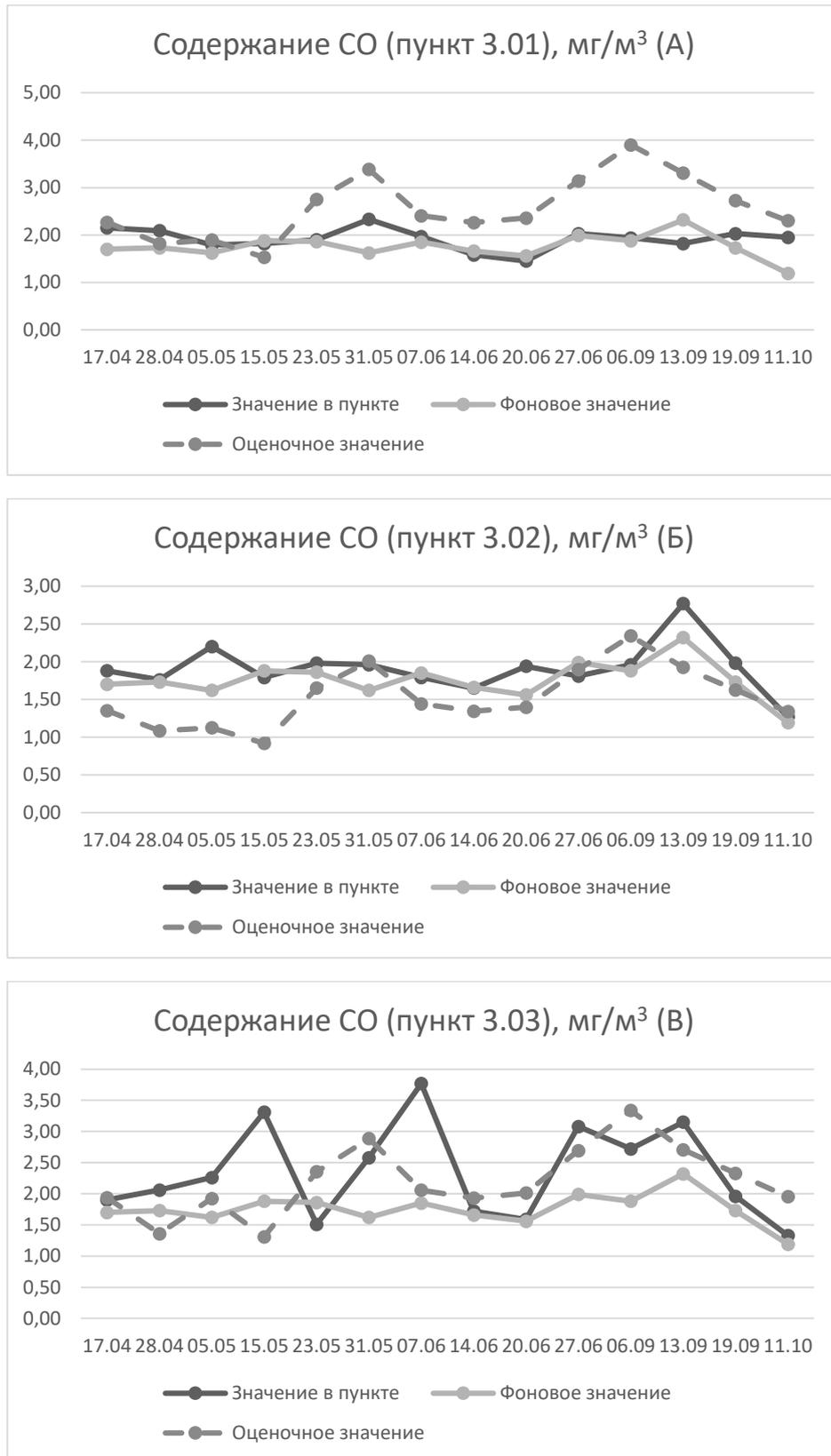


Рис. 1 а-в. Содержание CO (пункты 3.01, 3.02, 3.03)

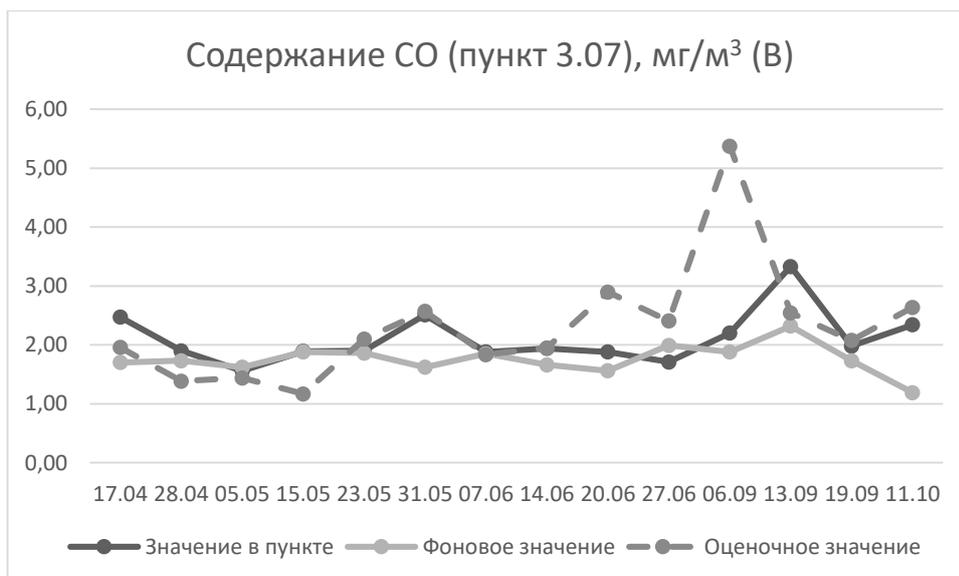
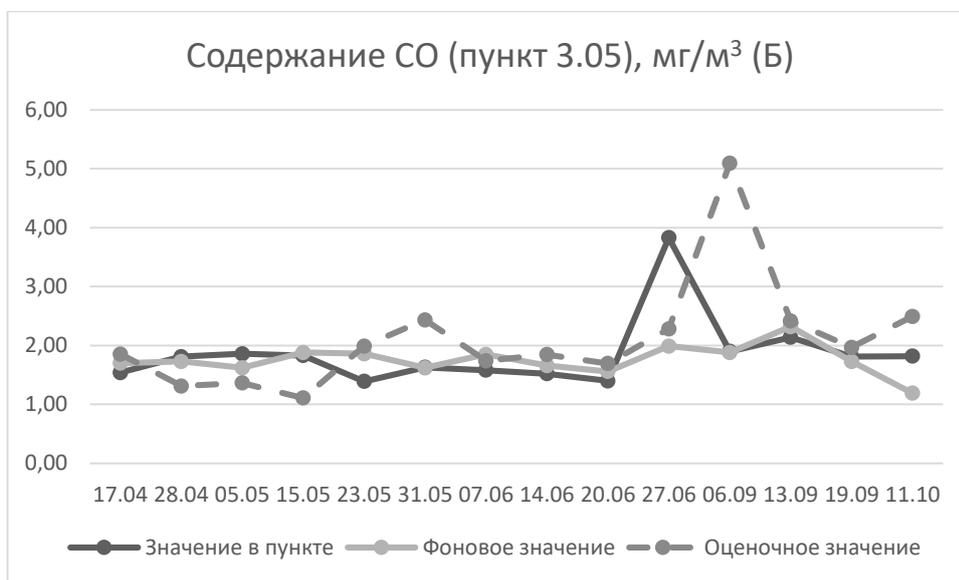
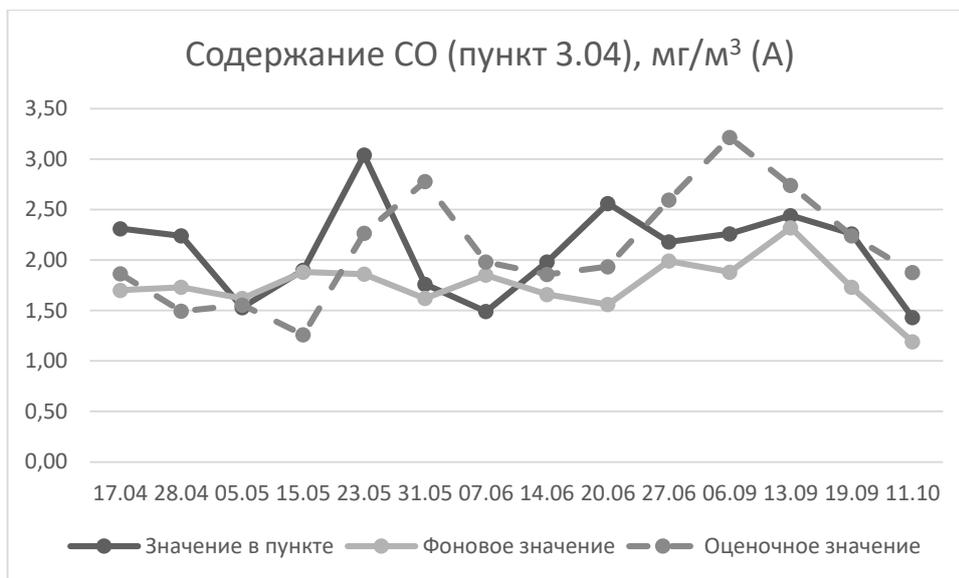


Рис. 2 а-в. Содержание CO (пункты 3.04, 3.05, 3.07)

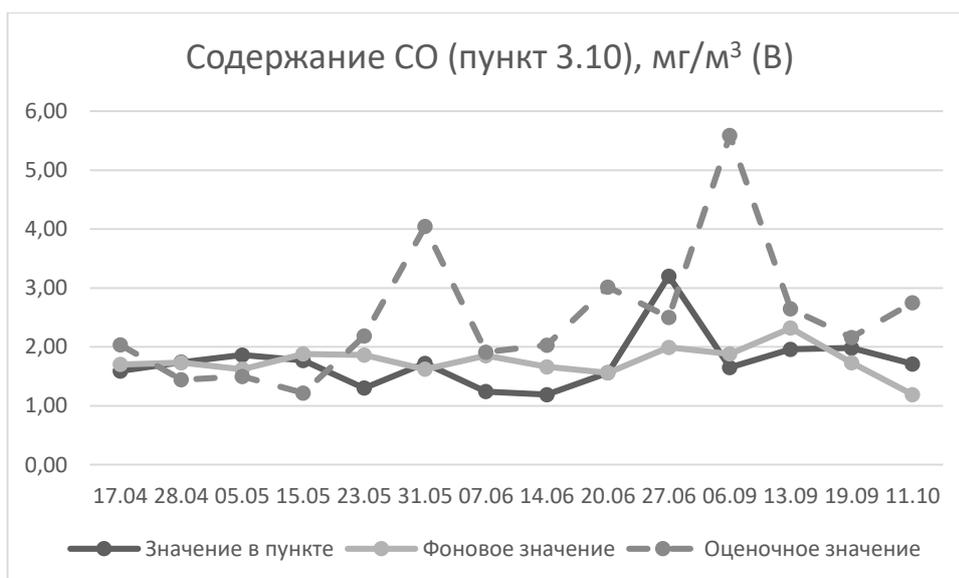
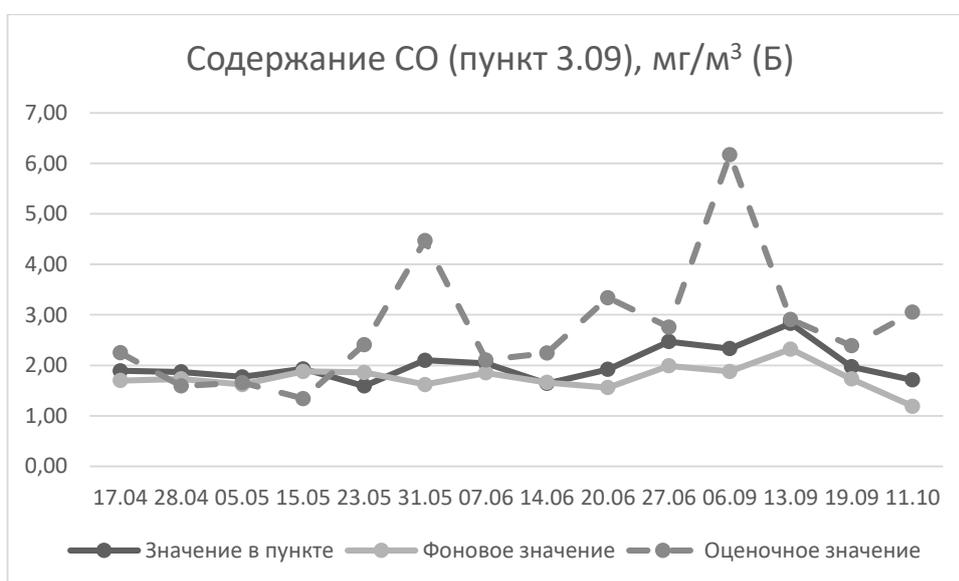
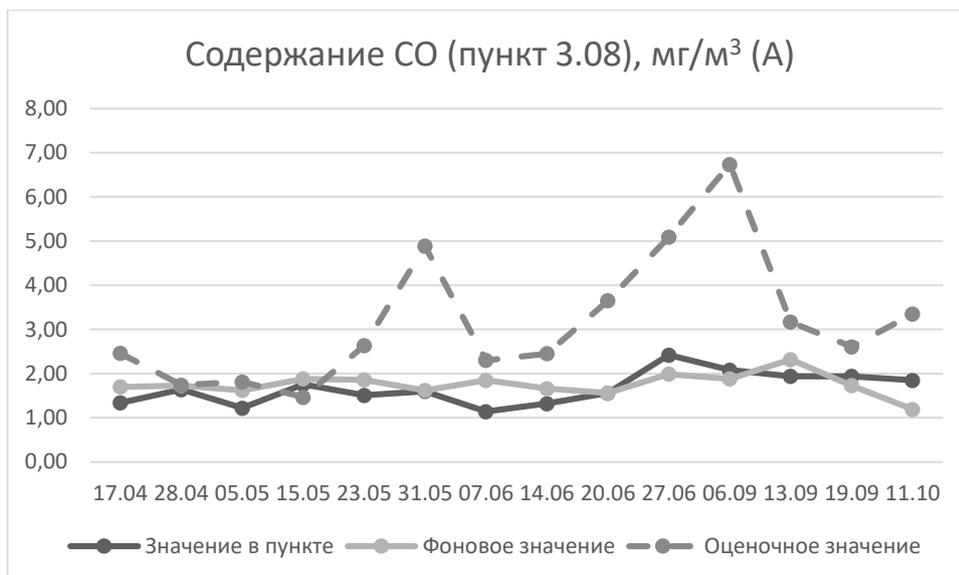


Рис. 3 а-в. Содержание CO (пункты 3.08, 3.09, 3.10)

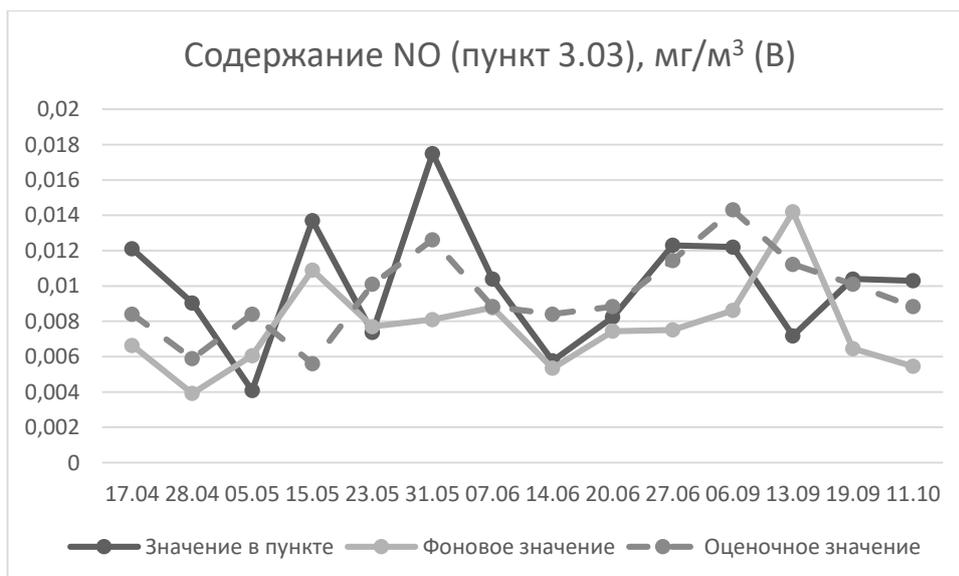
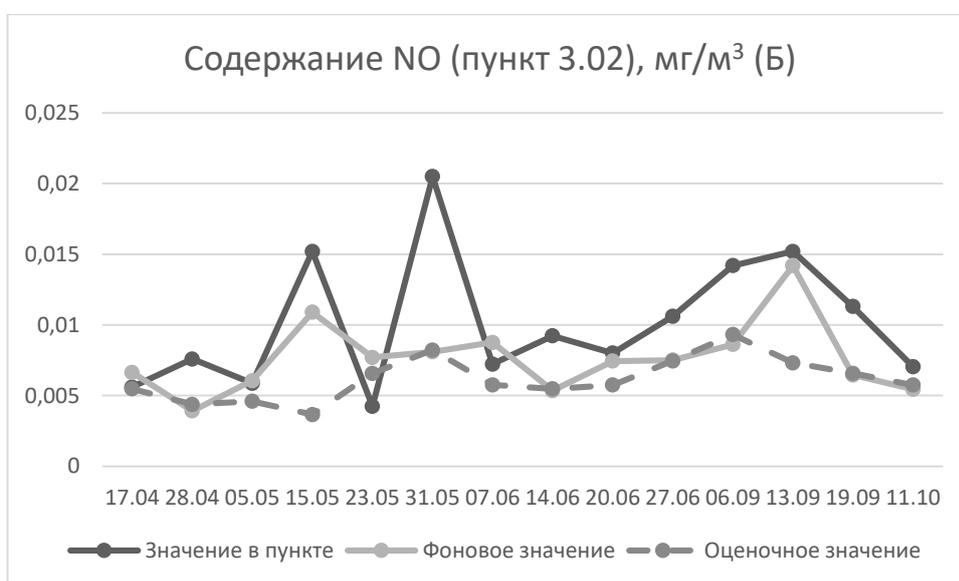
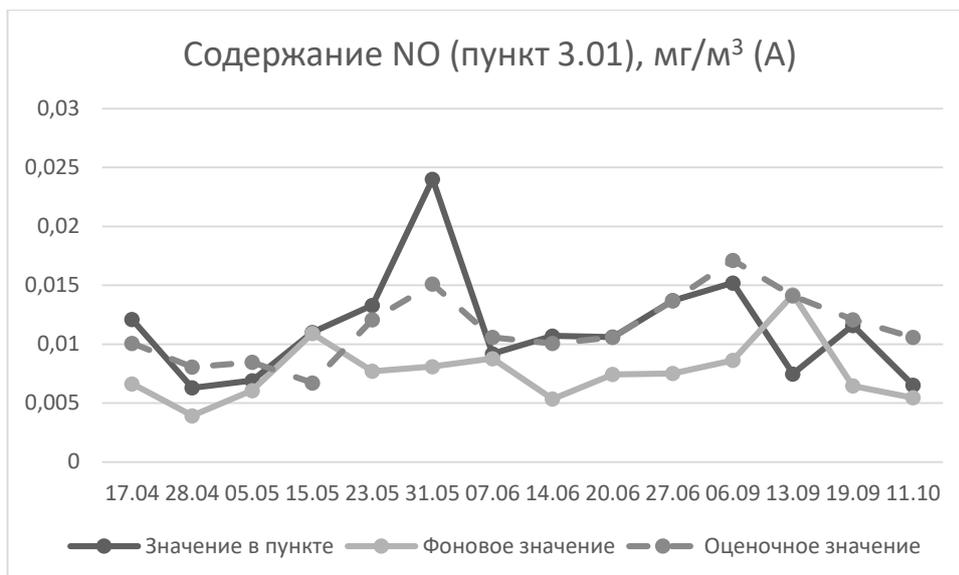


Рис. 4 а-в. Содержание NO (пункты 3.01, 3.02, 3.03)

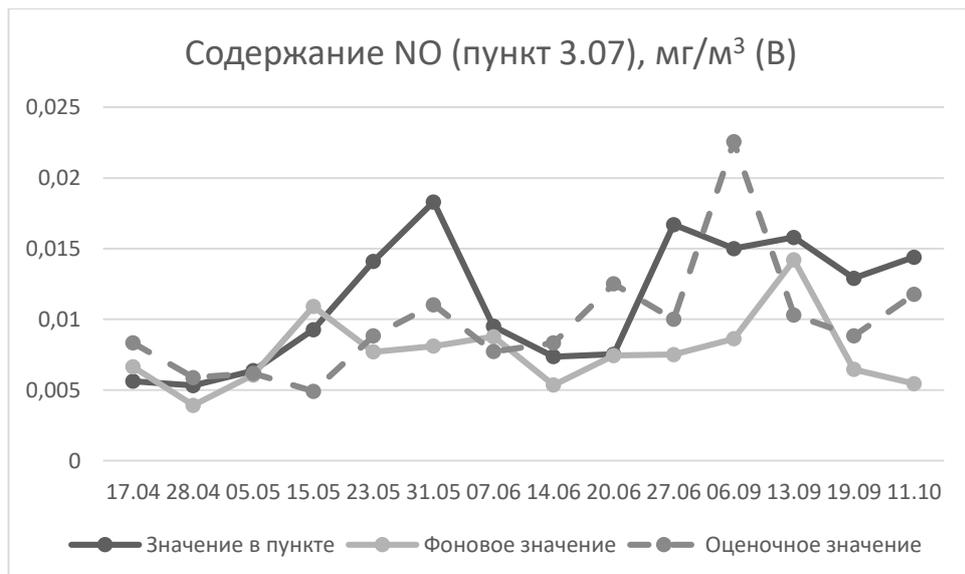
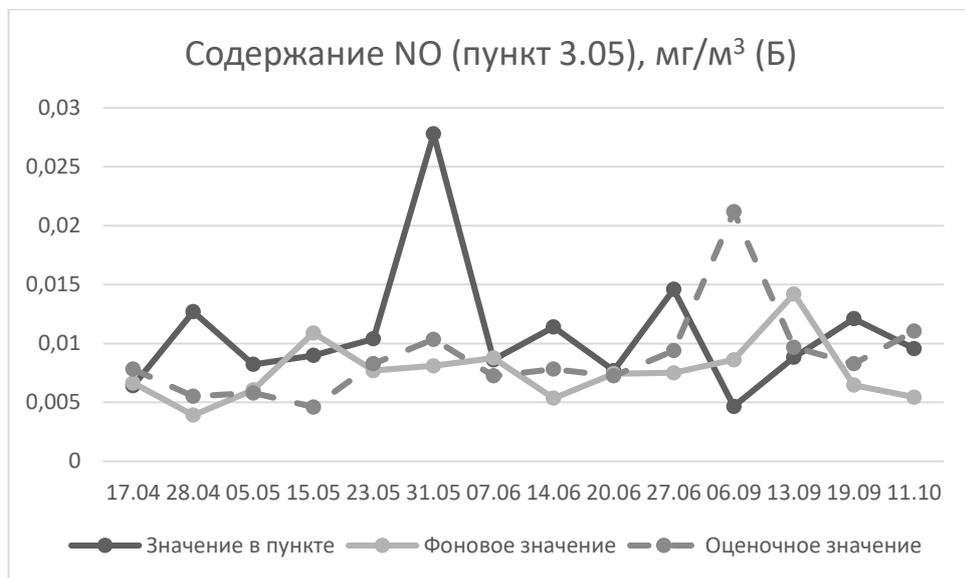
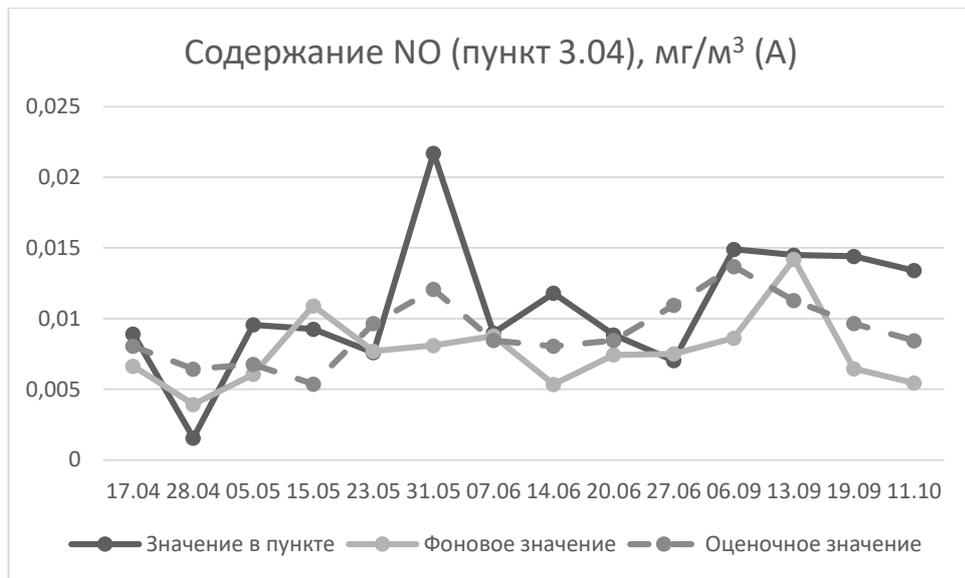


Рис. 5 а-в. Содержание NO (пункты 3.04, 3.05, 3.07)

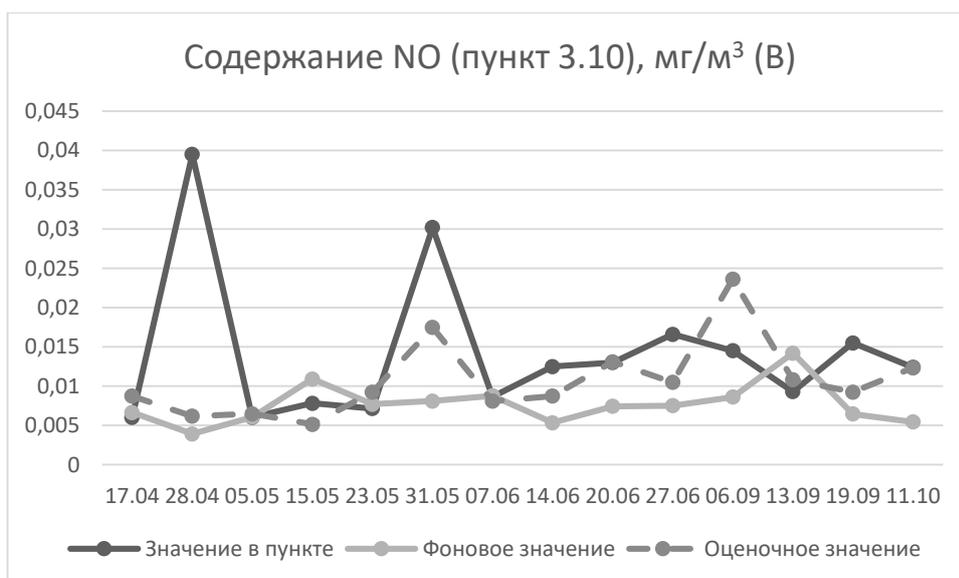
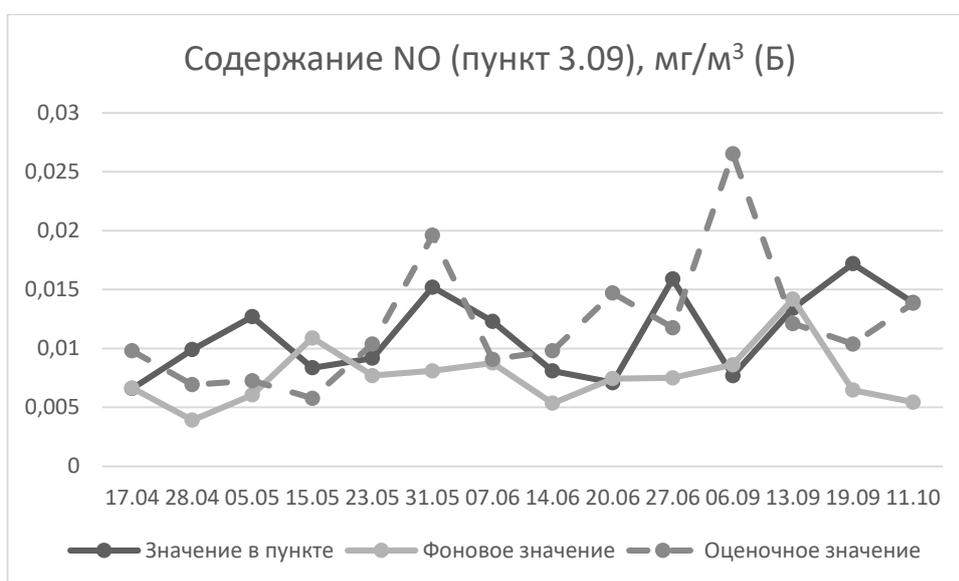
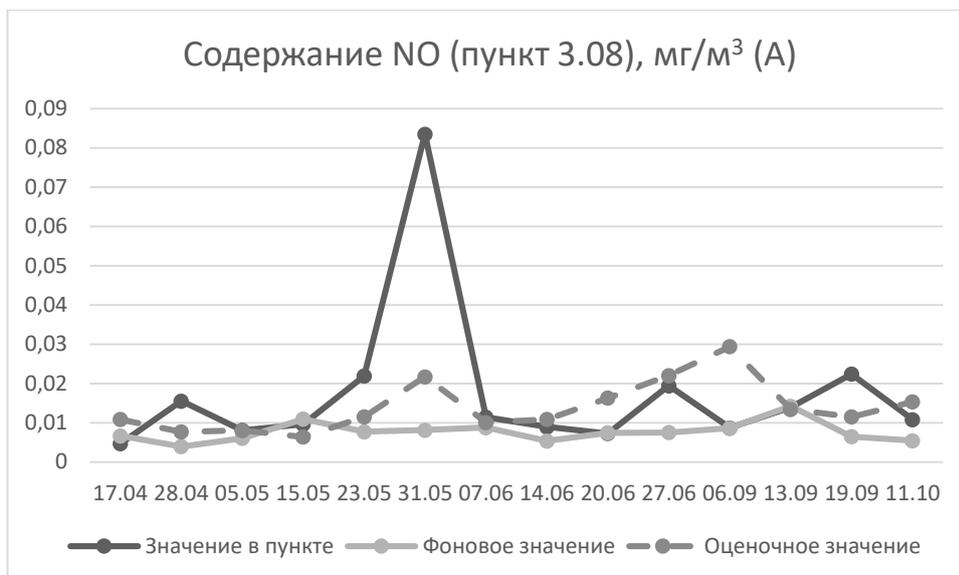
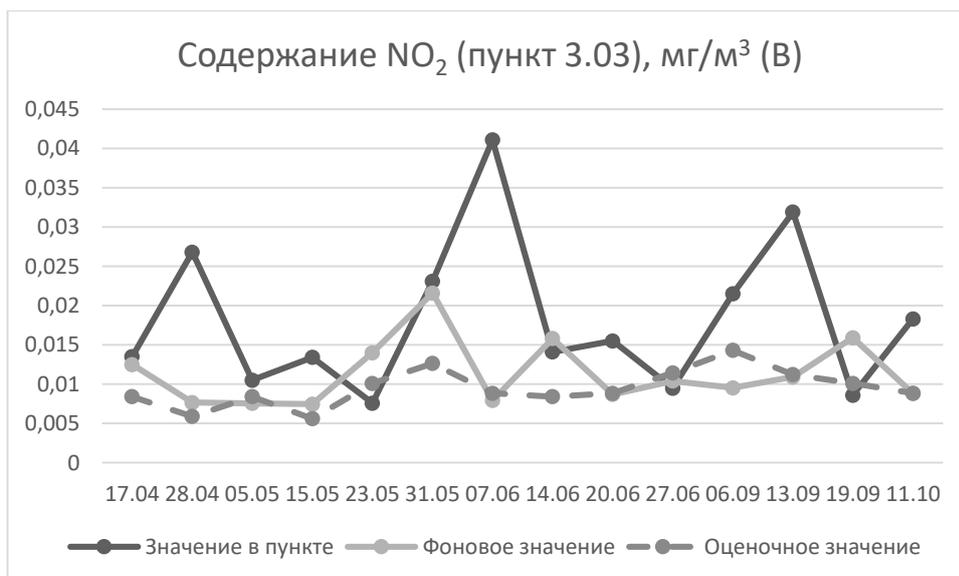
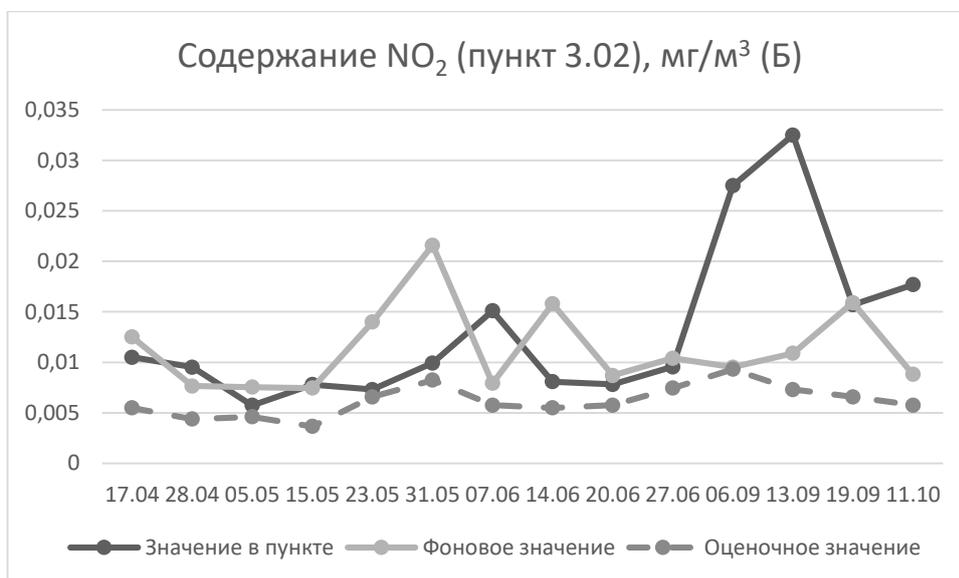
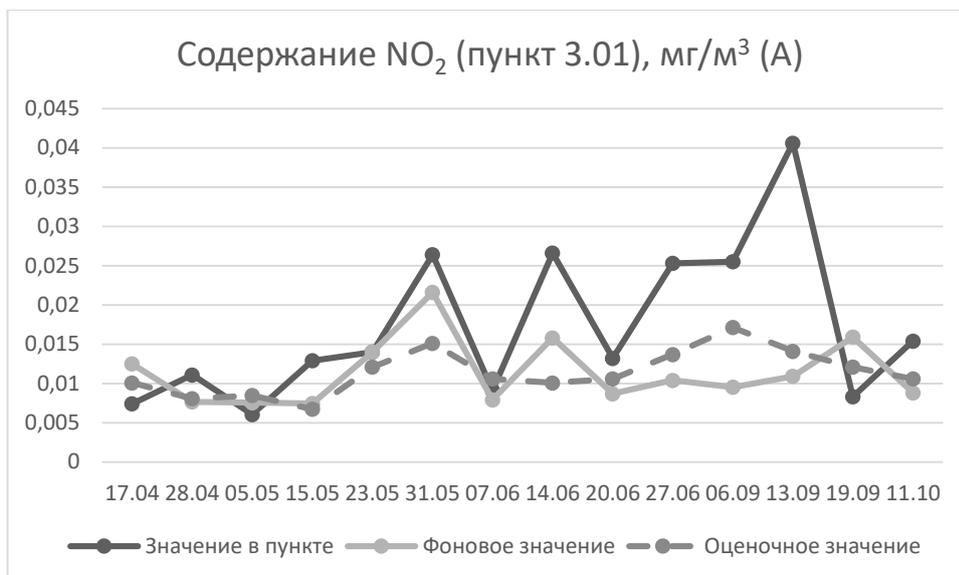


Рис. 6 а-в. Содержание NO (пункты 3.08, 3.09, 3.10)

Рис. 7 а-в. Содержание NO₂ (пункты 3.01, 3.02, 3.03)

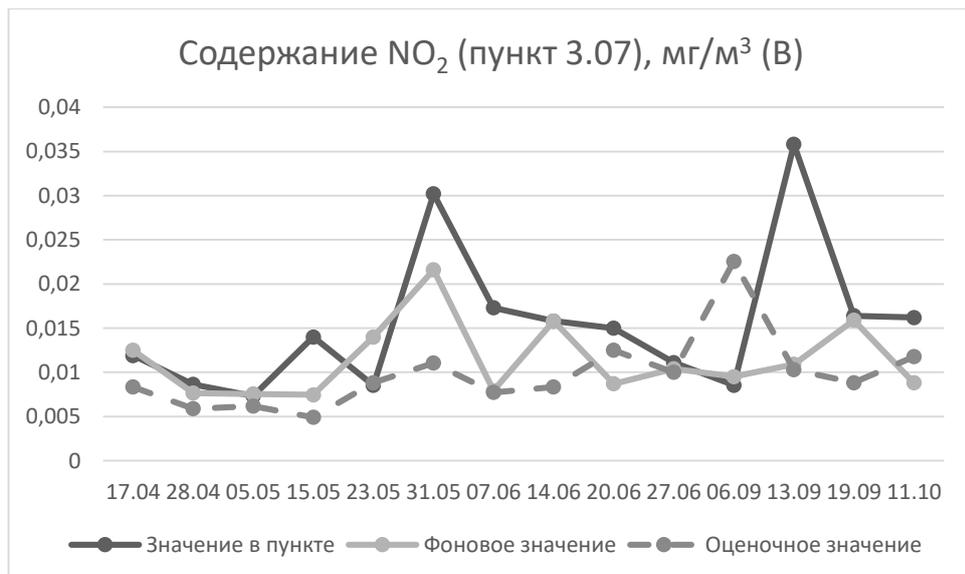
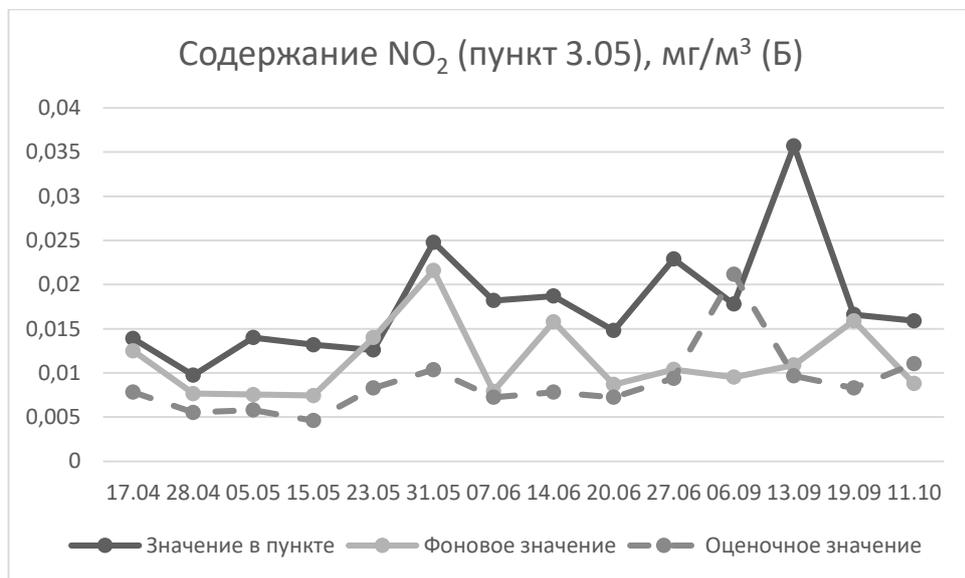
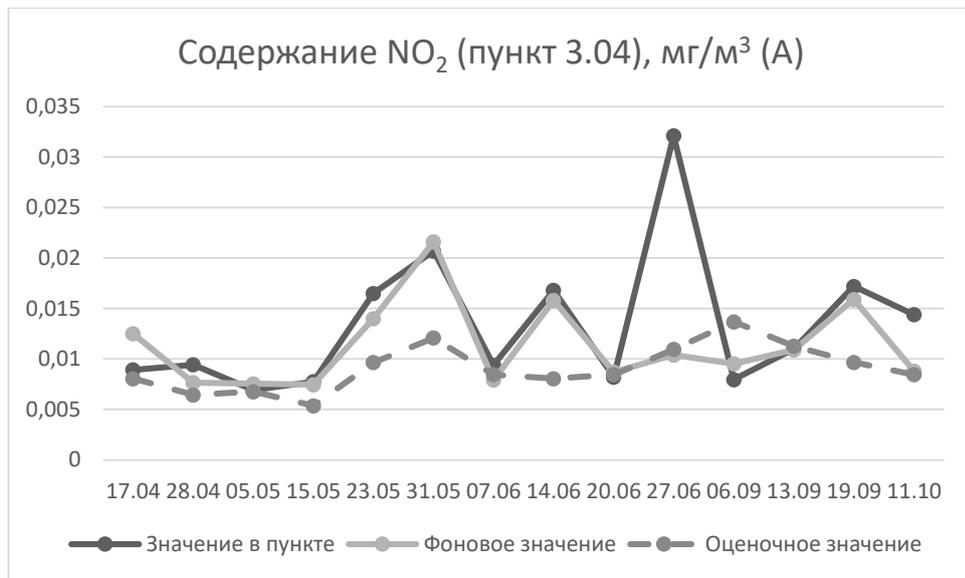


Рис. 8 а-в. Содержание NO₂ (пункты 3.04, 3.05, 3.07)

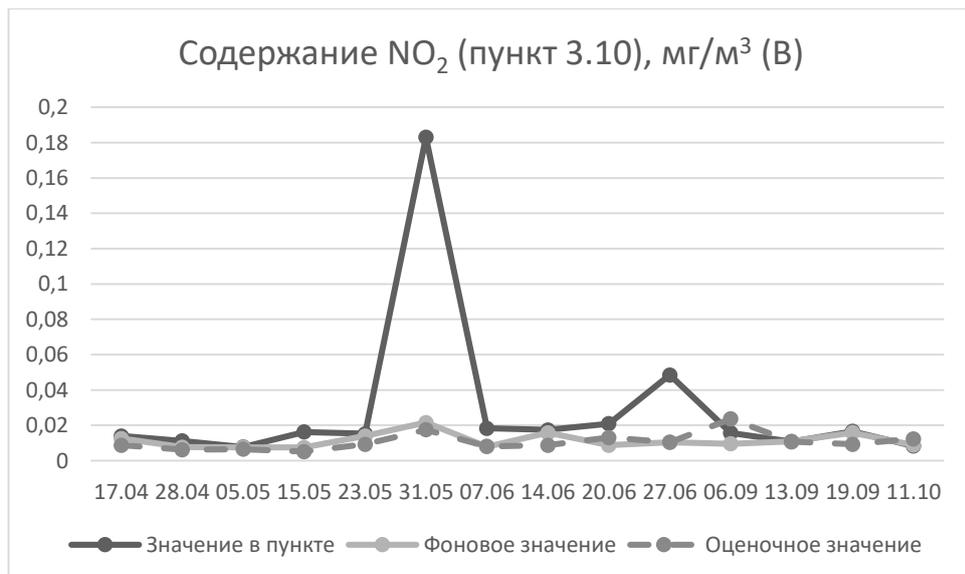
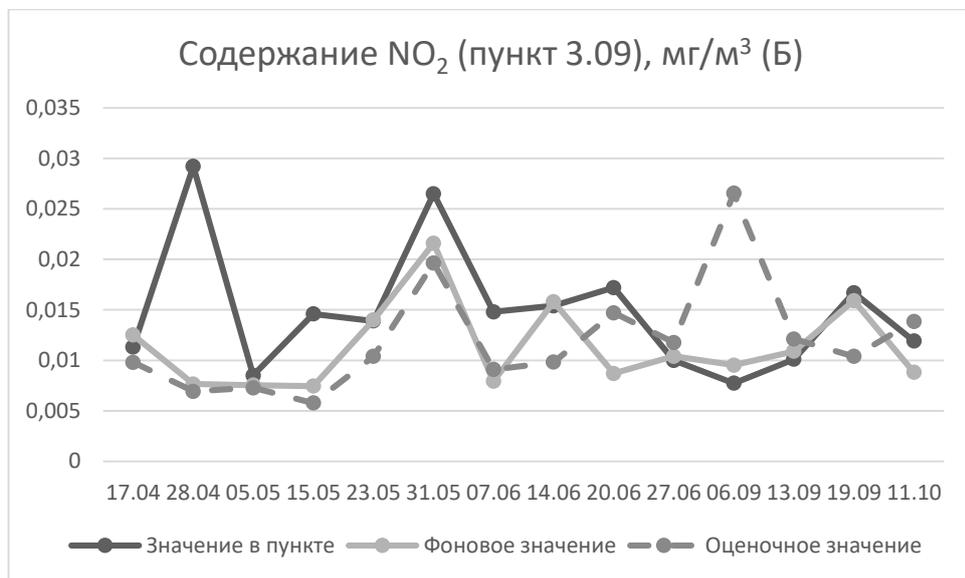
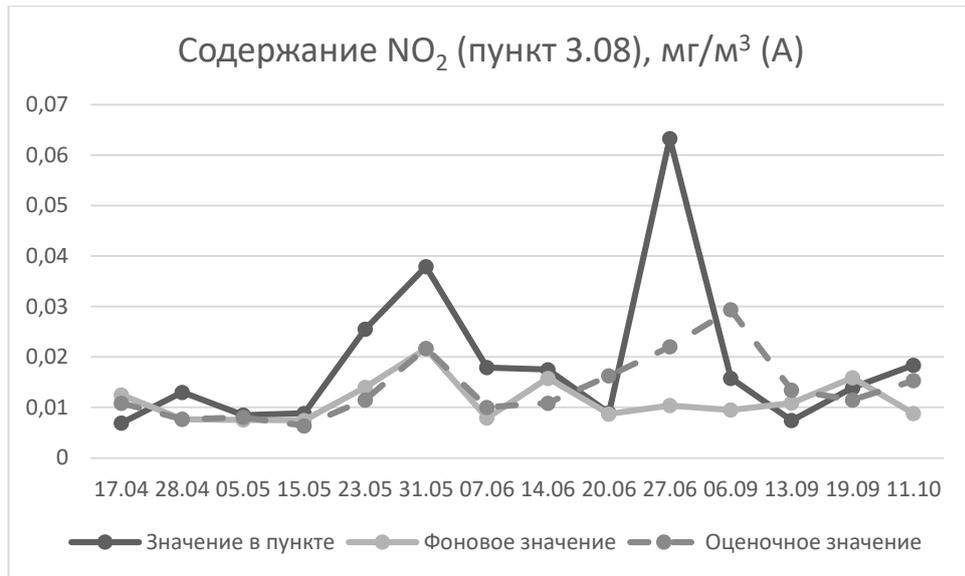


Рис. 9 а-в. Содержание NO₂ (пункты 3.08, 3.09, 3.10)

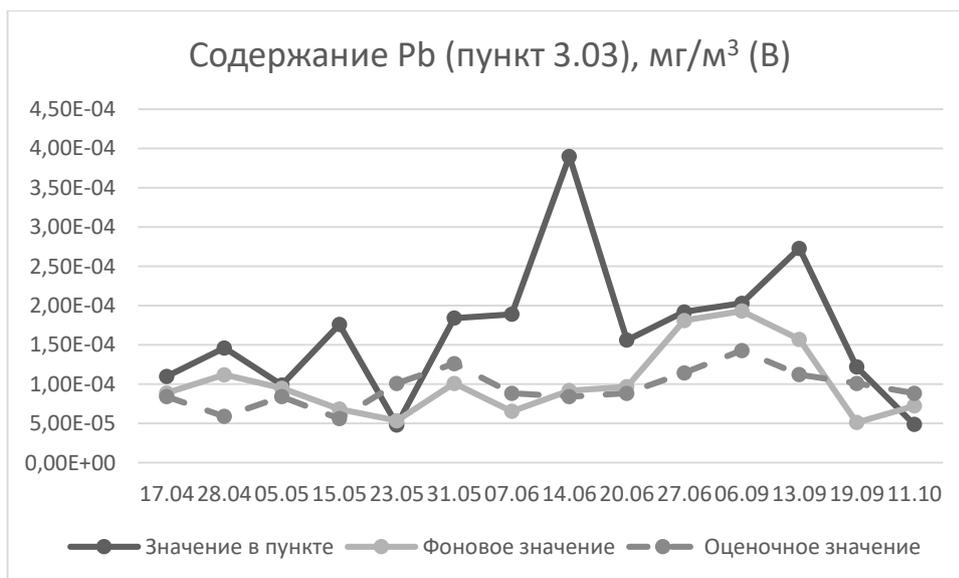
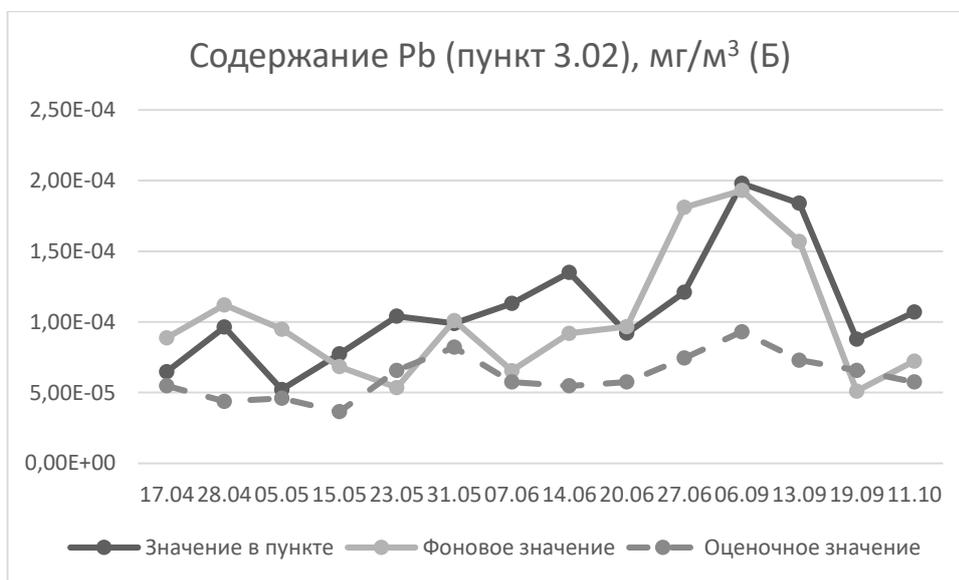
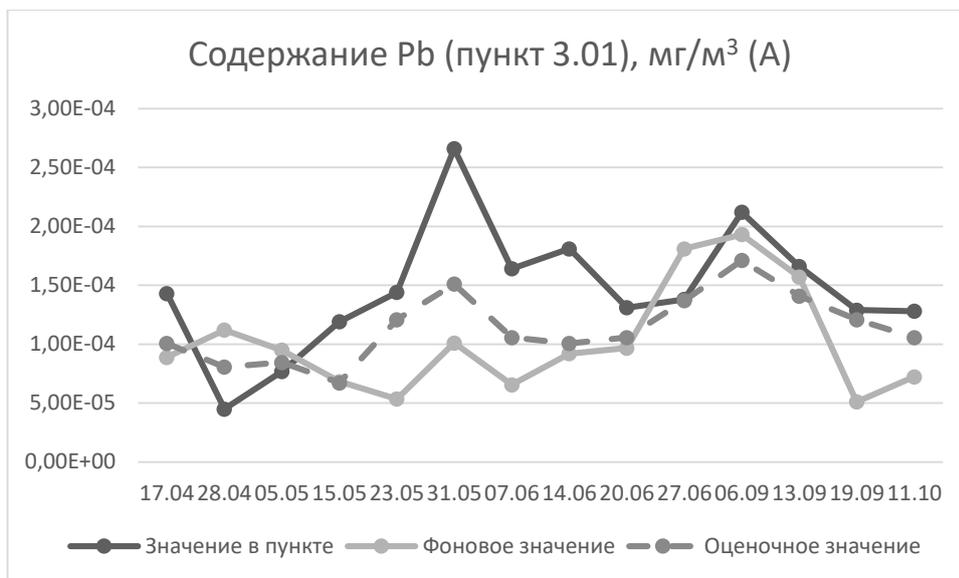


Рис. 10 а-в. Содержание Pb (пункты 3.01, 3.02, 3.03)

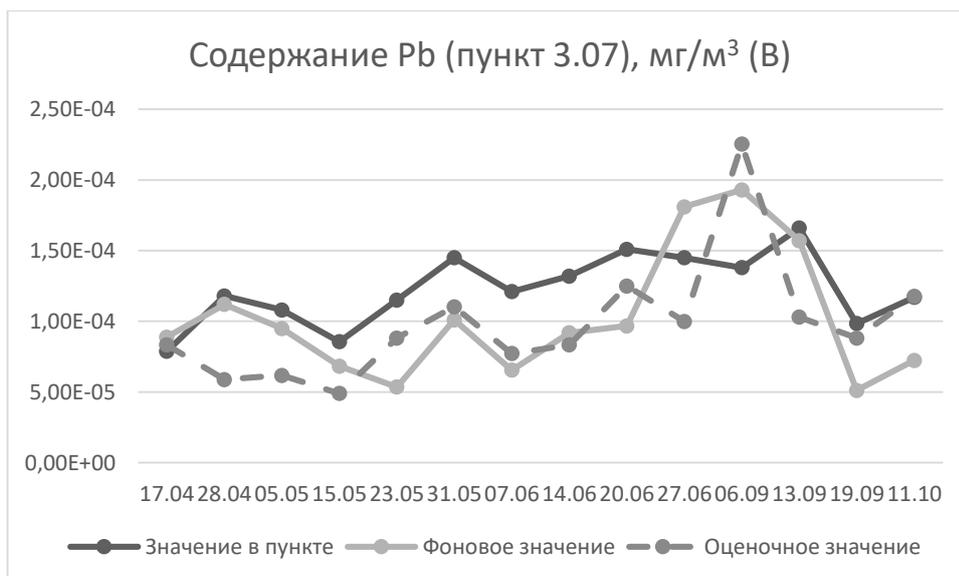
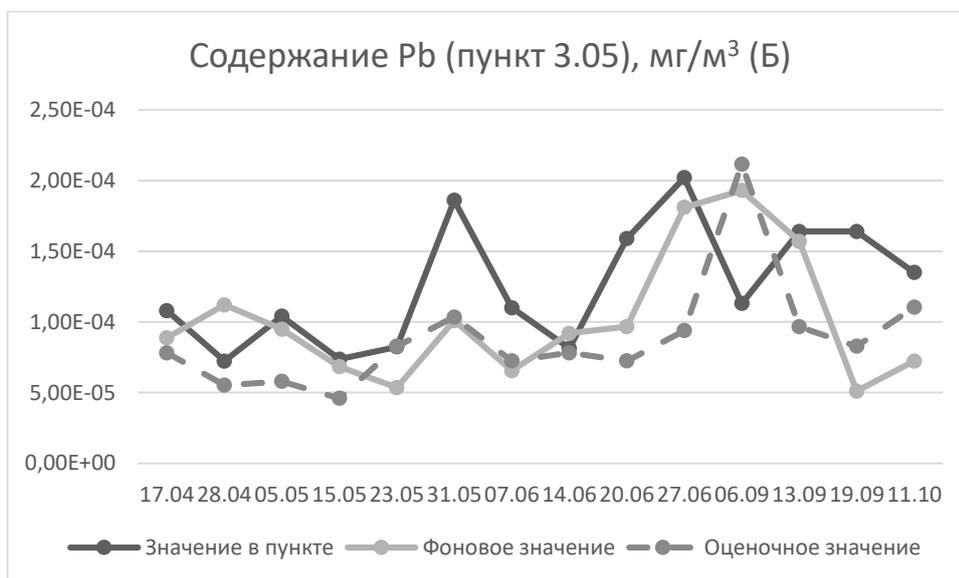
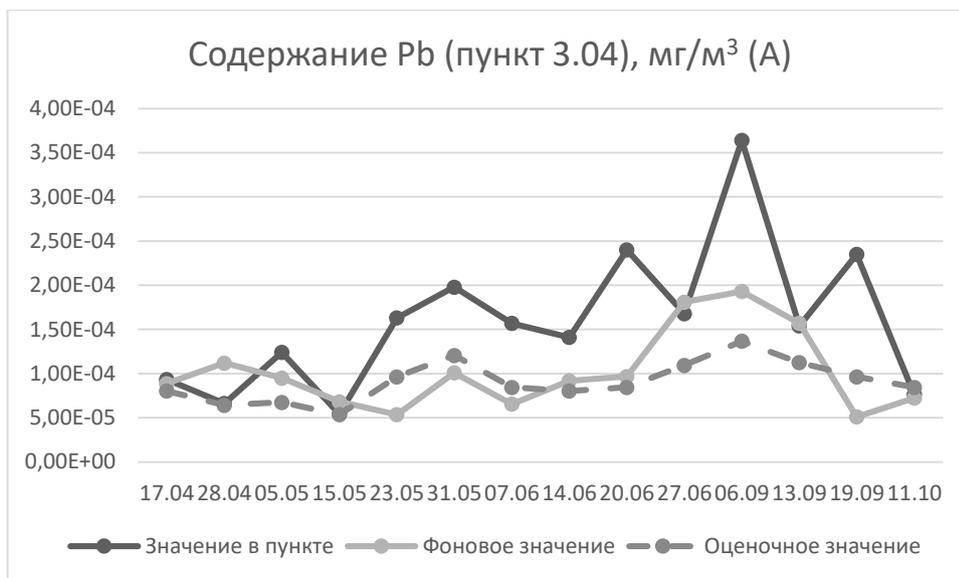


Рис. 11 а-в. Содержание Pb (пункты 3.04, 3.05, 3.07)

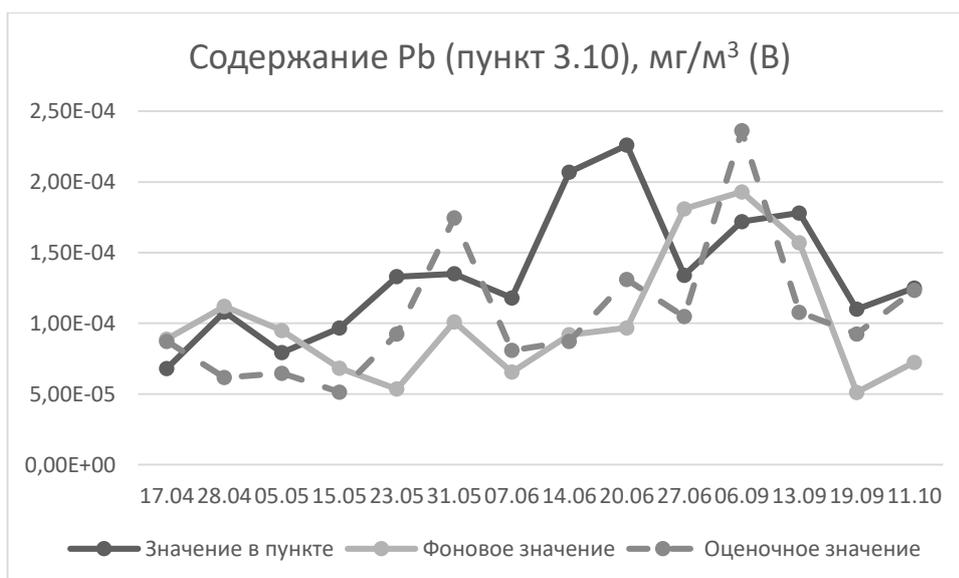
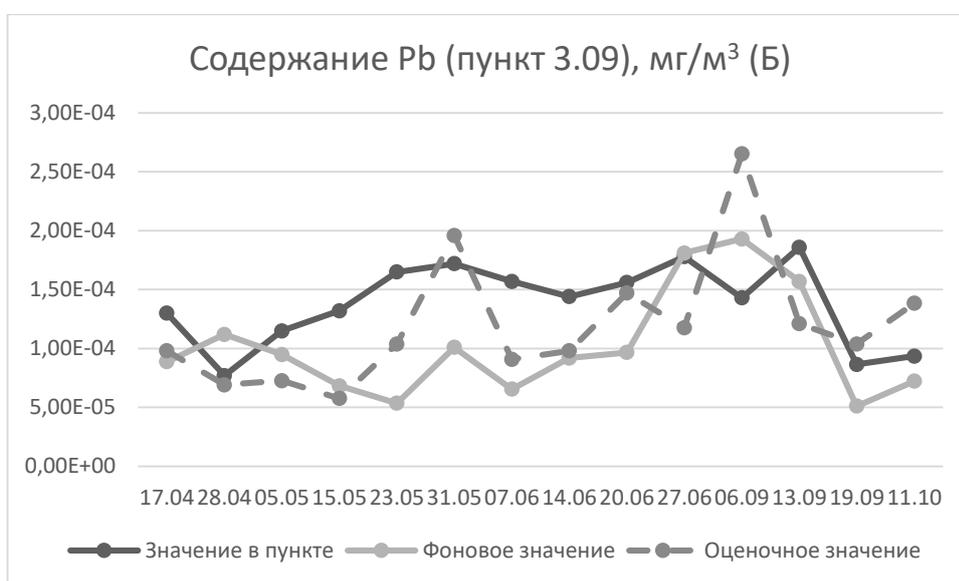
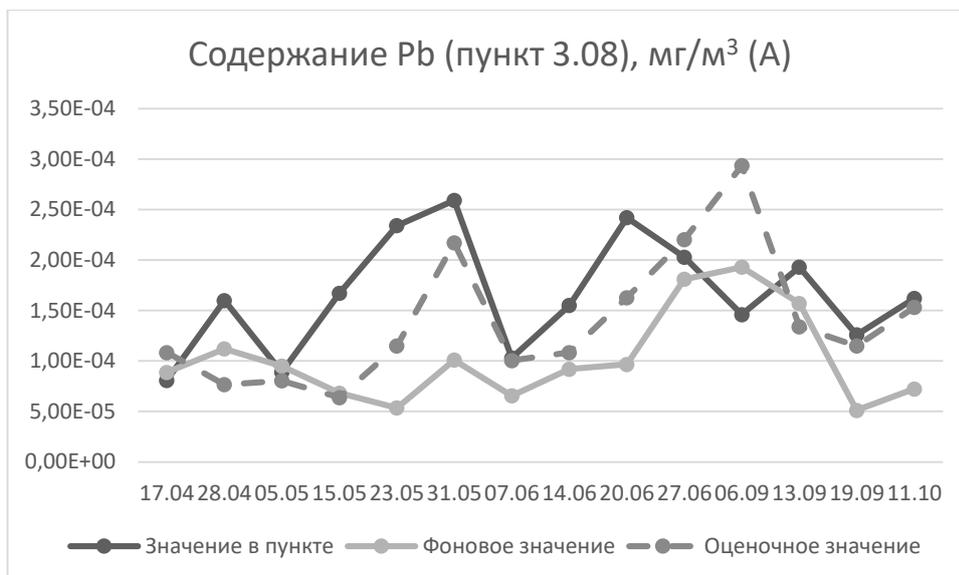


Рис. 12 а-в. Содержание Pb (пункты 3.08, 3.09, 3.10)

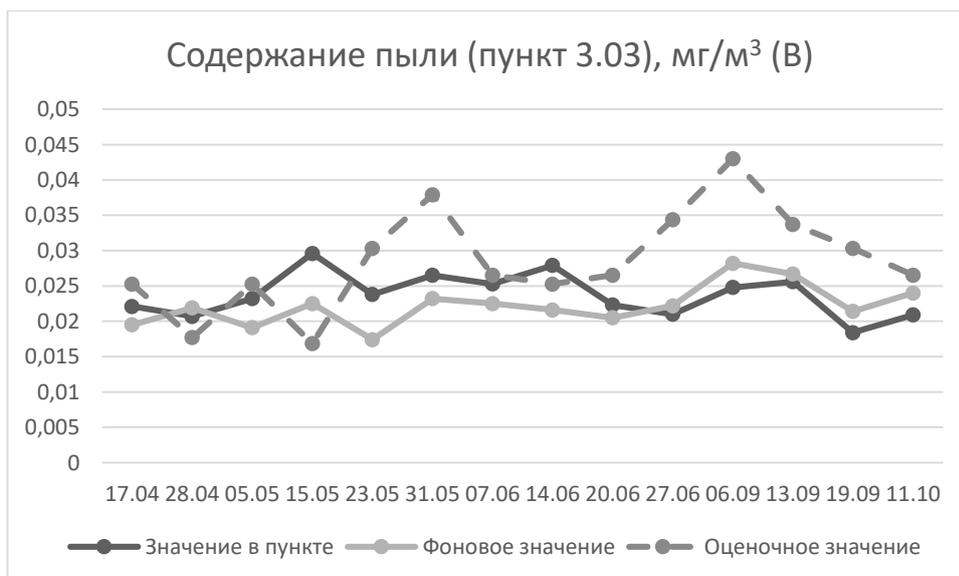
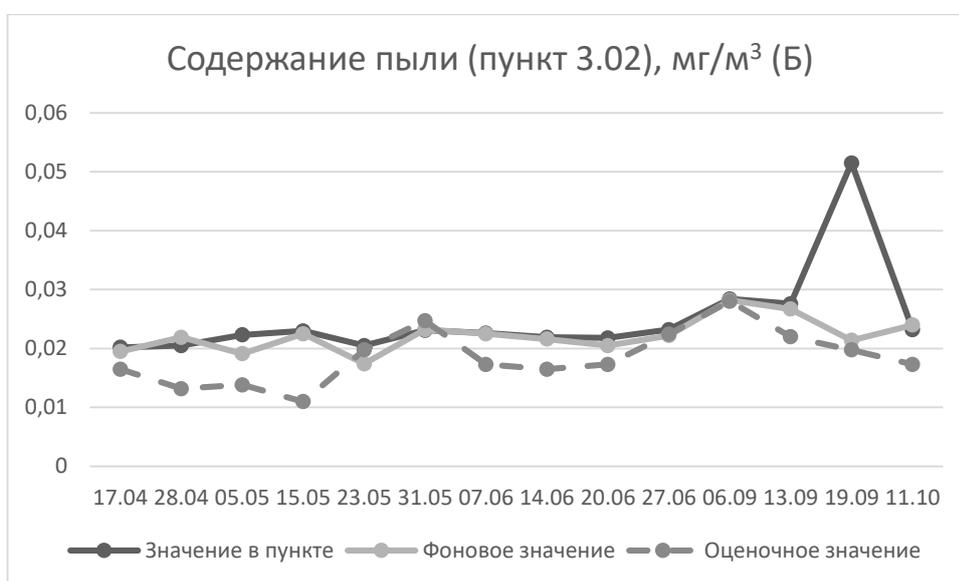
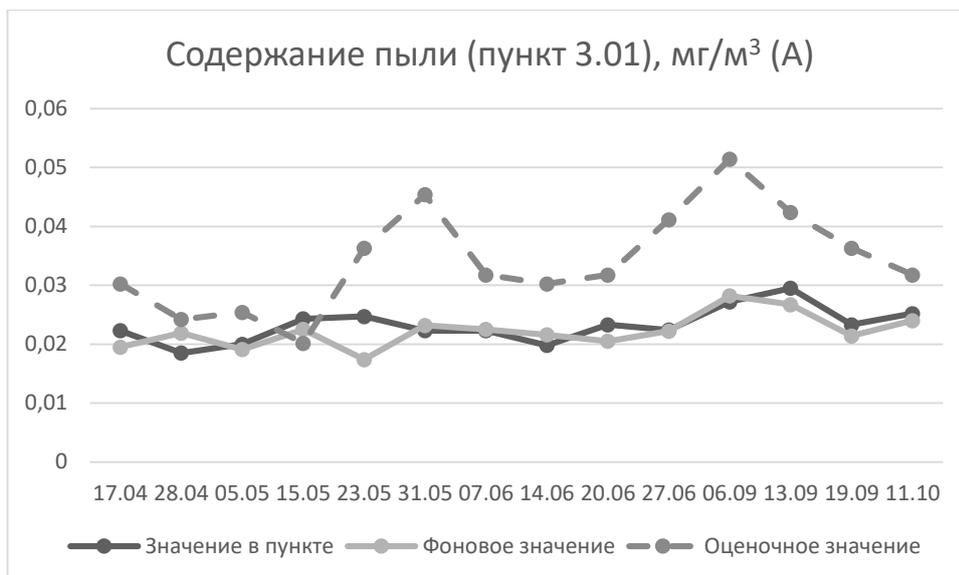


Рис. 13 а-в. Содержание пыли (пункты 3.01, 3.02, 3.03)

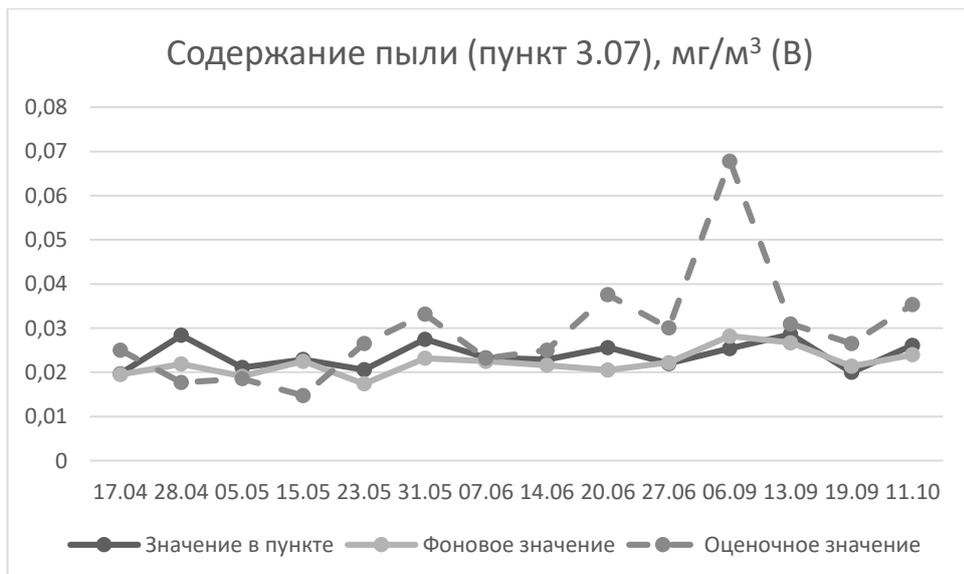
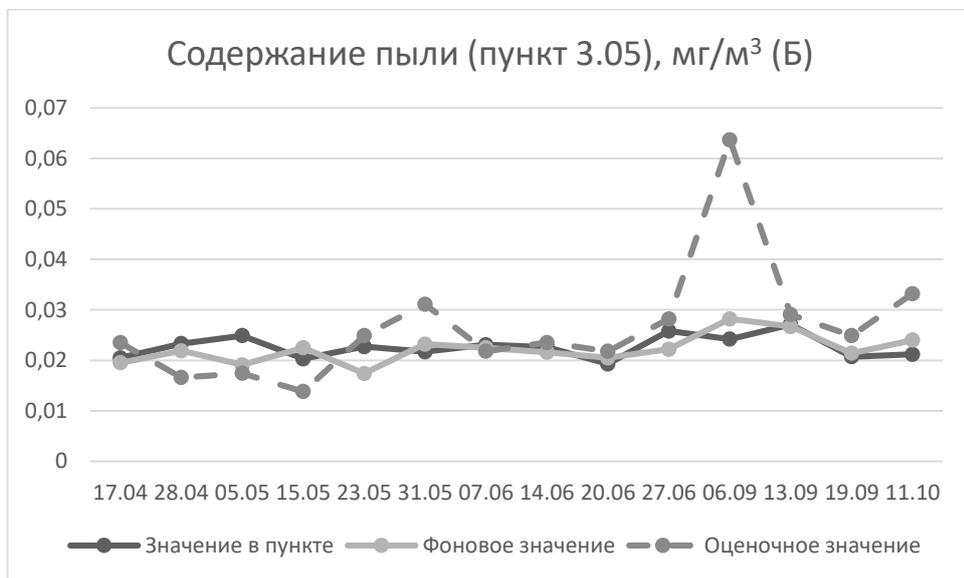
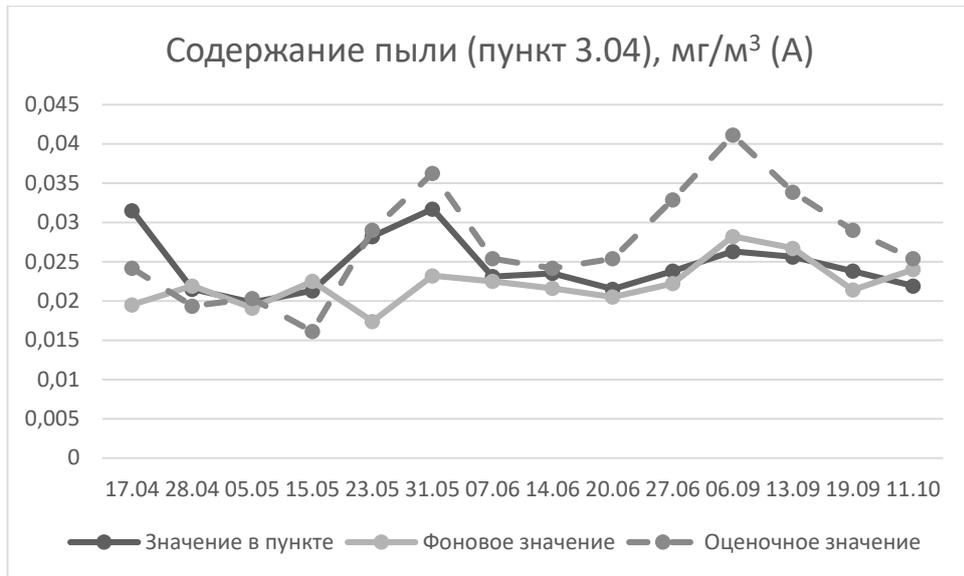


Рис. 14 а-в. Содержание пыли (пункты 3.04, 3.05, 3.07)

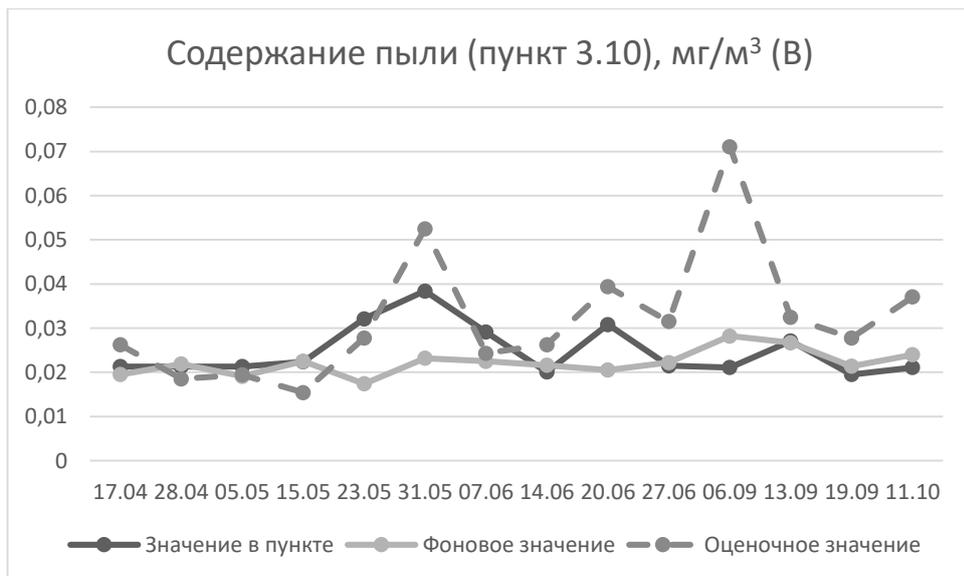
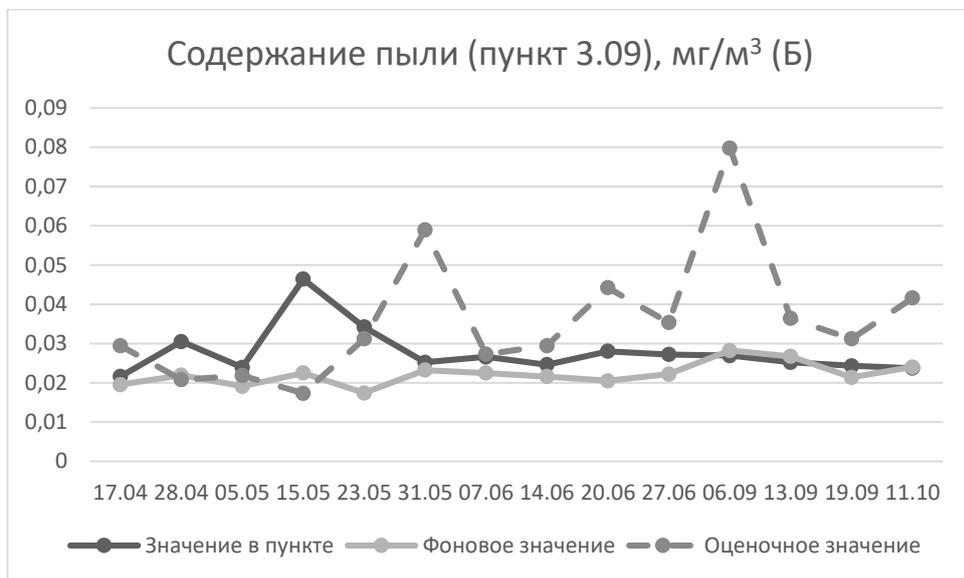
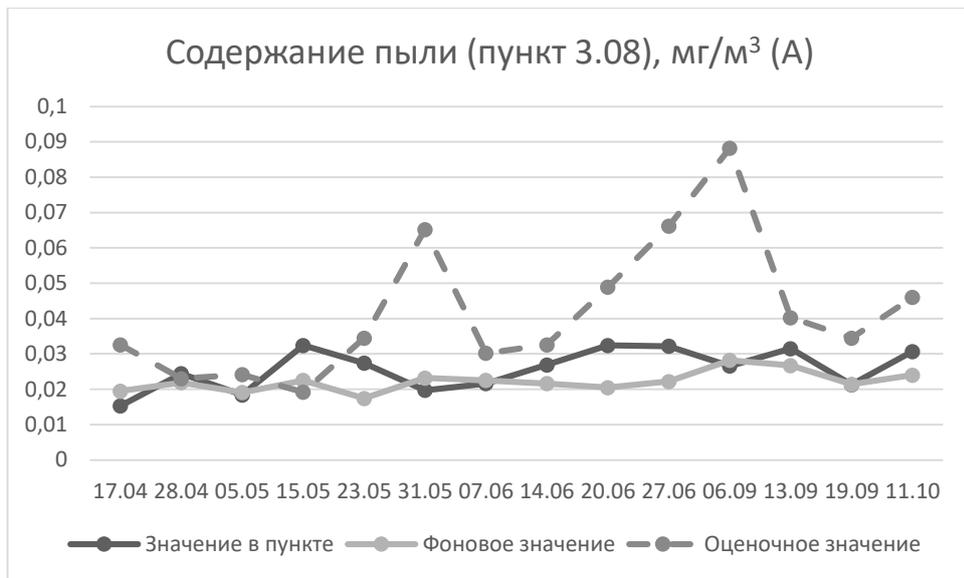


Рис. 15 а-в. Содержание пыли (пункты 3.08, 3.09, 3.10)

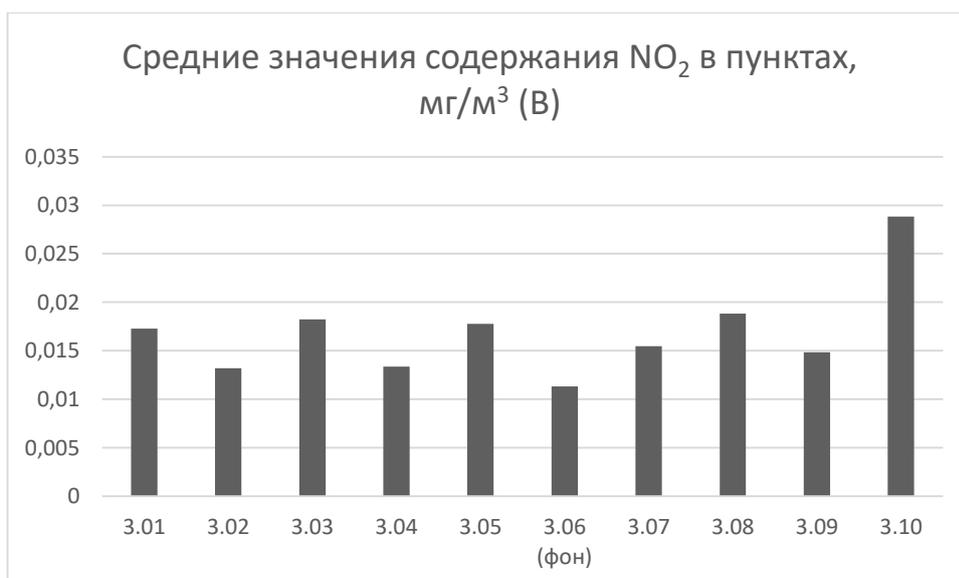
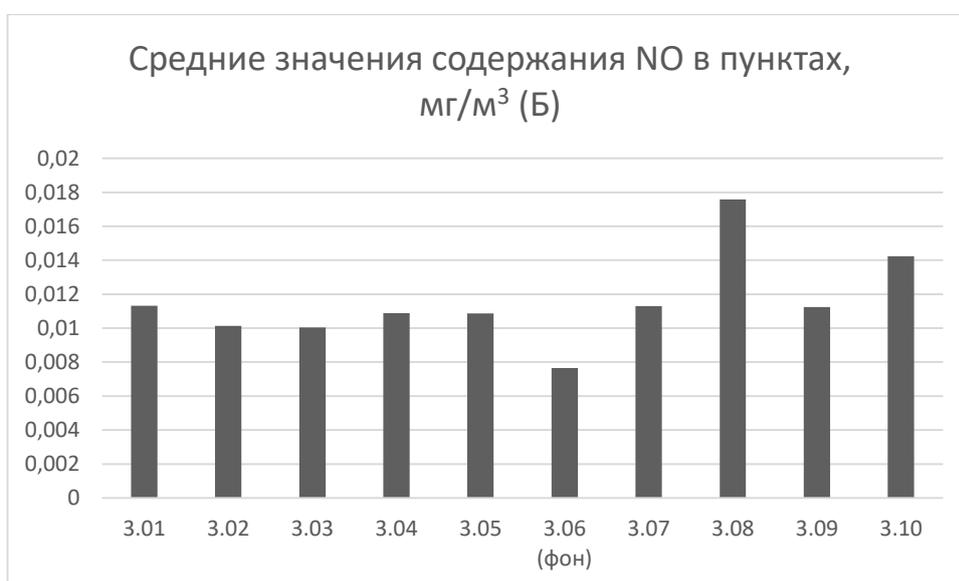
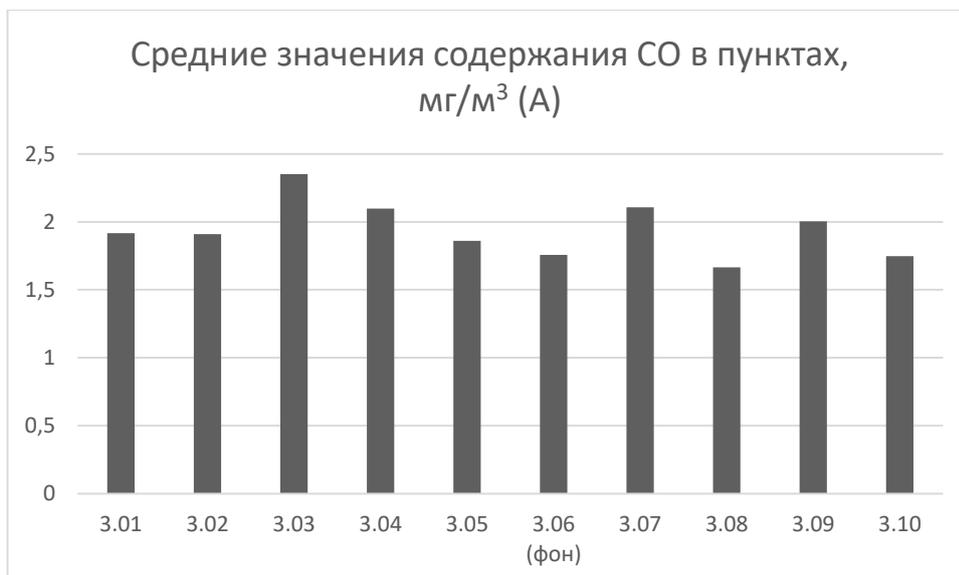


Рис. 16 а-в. Средние значения содержания CO, NO, NO₂ в пунктах

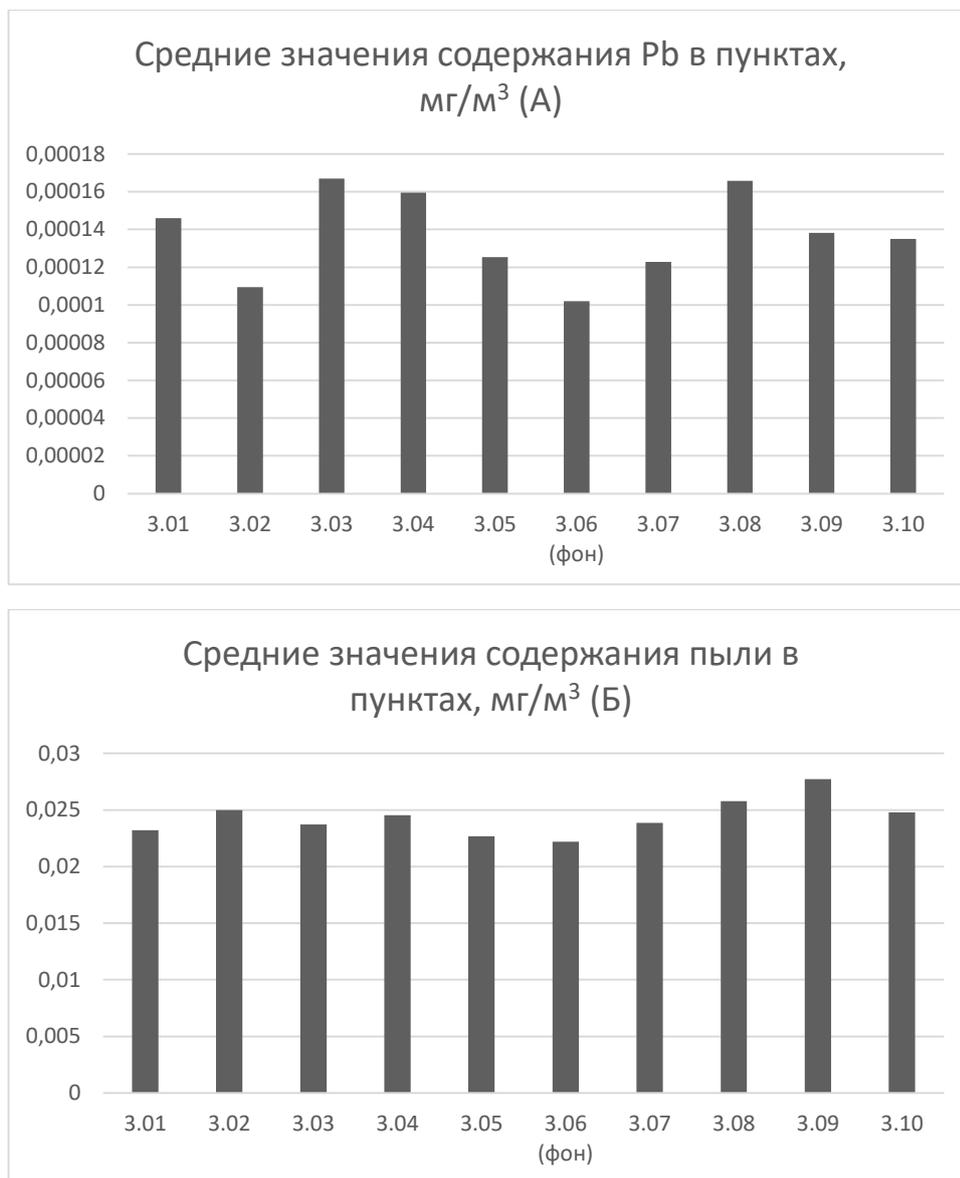


Рис. 17 а, б. Средние значения содержания соединений свинца (Pb) и пыли неорганической в пунктах

Сравнение усредненных фоновых содержаний загрязнителей со средними значениями по данным Росгидромета

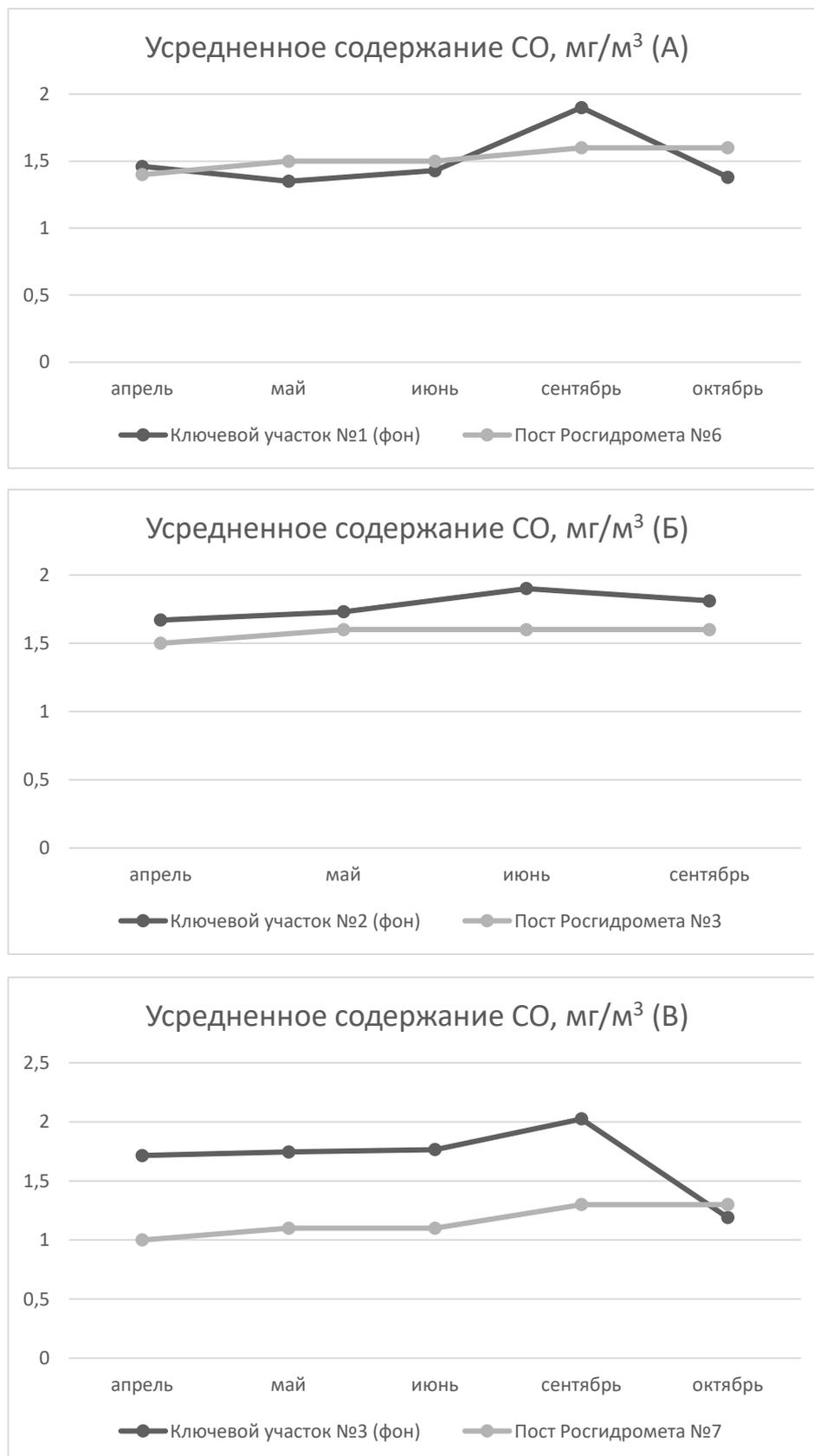


Рис. 1 а-в. Усредненное фоновое содержание CO

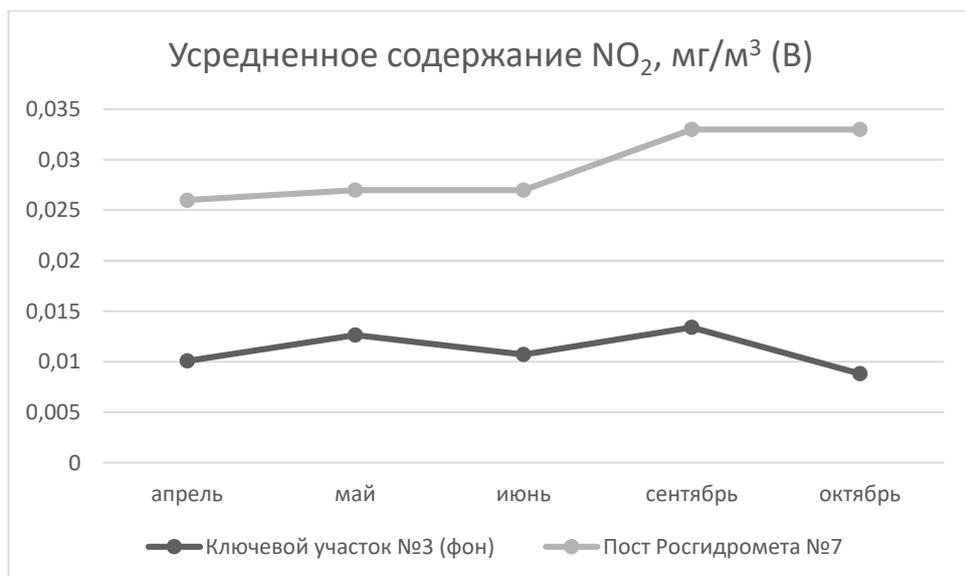
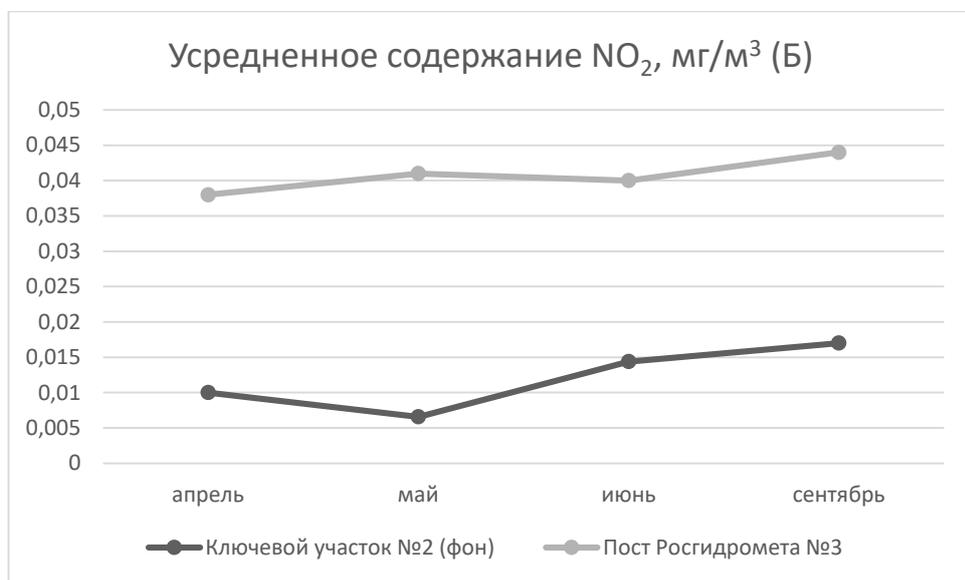
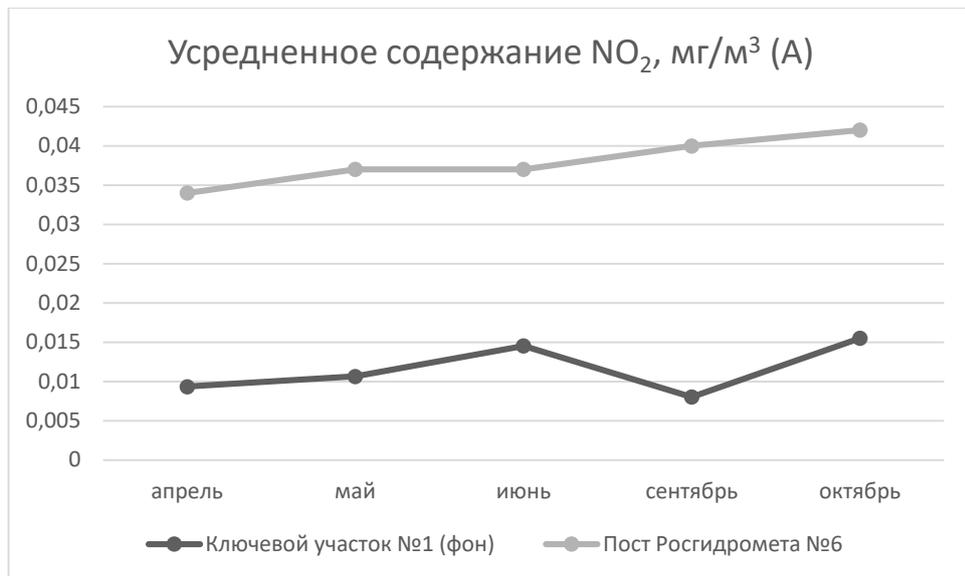


Рис. 2 а-в. Усредненное фоновое содержание NO_2

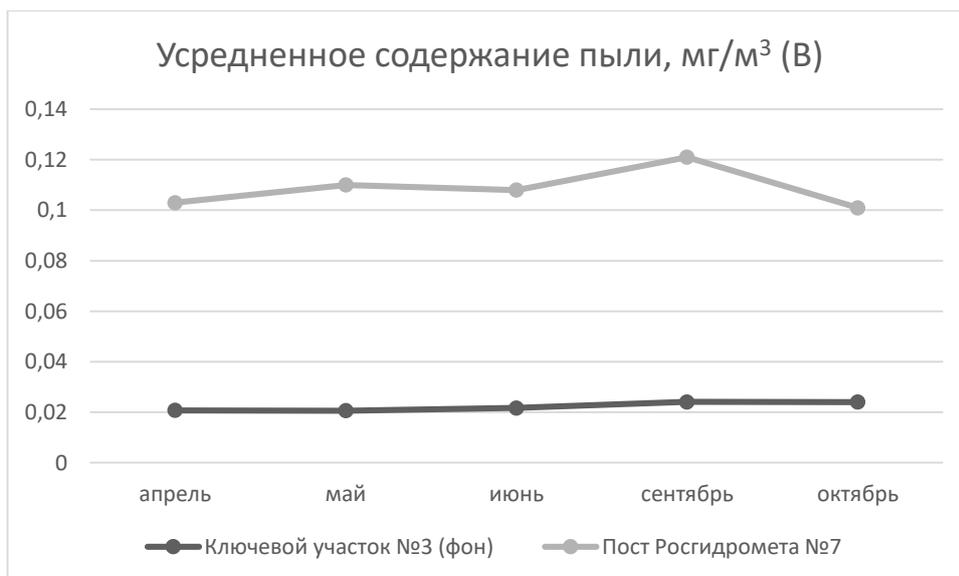
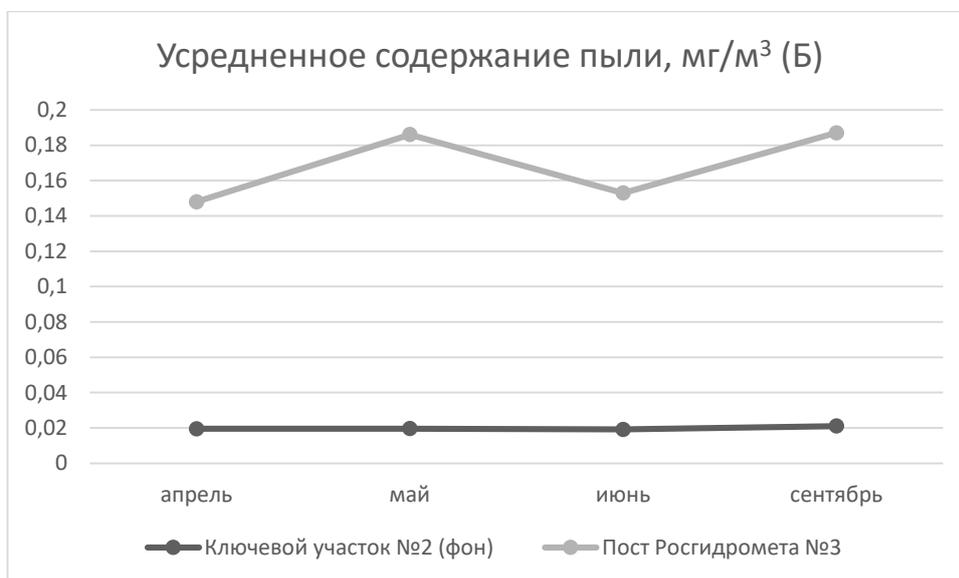
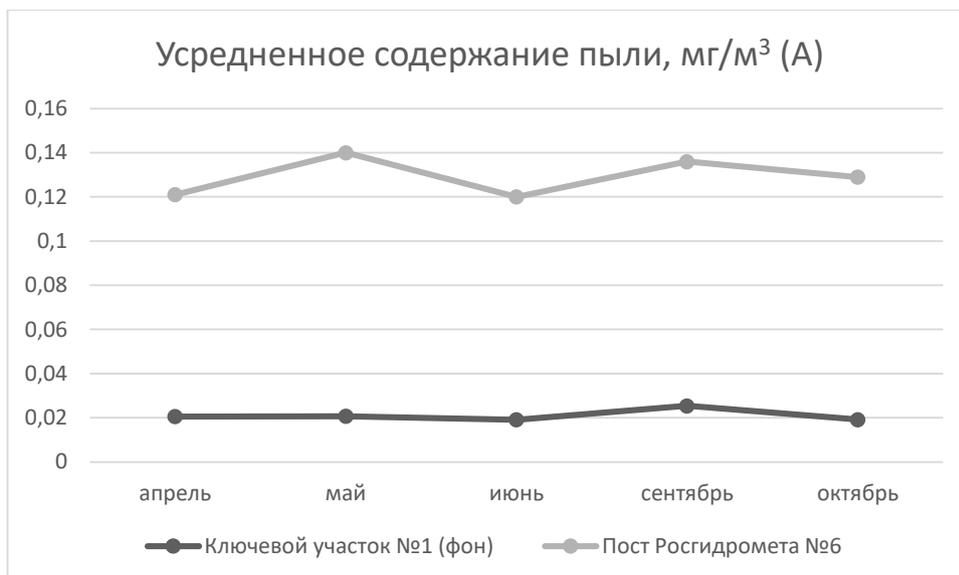


Рис. 3 а-в. Усредненное фоновое содержание пыли

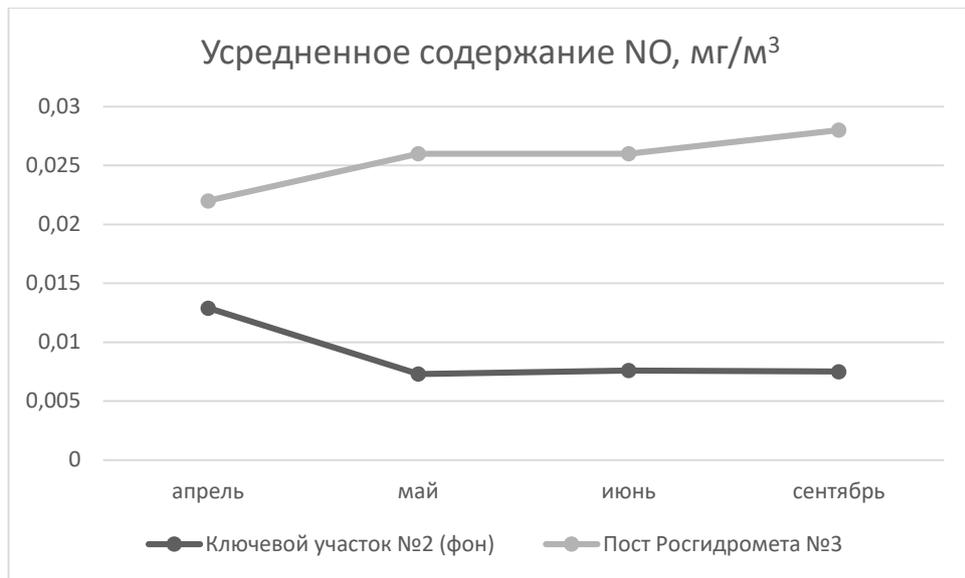


Рис. 4. Усредненное фоновое содержание NO