

РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТЬ ПУНКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Тасейко О.В., Сугак Е.В.

Сибирский государственный аэрокосмический университет, Красноярск, Россия (660014, Красноярск, проспект им. газеты «Красноярский рабочий», 31), e-mail: sugak@mail.ru

В статье рассмотрены требования к размещению пунктов наблюдений за качеством атмосферного воздуха. Проанализированы особенности размещения пунктов наблюдения в зависимости от целей мониторинга, от перечня исследуемых компонент. Рассмотрено влияние физических характеристик территории и близости источников загрязнения на репрезентативность мест отбора проб. В работе сформулированы основные требования к выбору пунктов наблюдения за качеством атмосферного воздуха в условиях городской среды для задачи мониторинга первичных загрязняющих веществ.

Классификация урбанизированной территории проведена для г. Красноярска, являющегося крупным промышленным центром и характеризующегося наличием крупным источников промвыбросов, высокой интенсивностью движения автотранспорта и сложными орографическими условиями.

Ключевые слова: репрезентативность пунктов наблюдения, оптимизация мониторинга, типизация застройки

REPRESENTATIVENESS OF URBAN STATION FOR AIR QUALITY MONITORING

Taseiko O.V., Sugak E.V.

Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk, Russia (31 "Krasnoyarskiy Rabochiy" pr., Krasnoyarsk, 660014), e-mail: sugak@mail.ru

In this article the requirements to siting of air quality station were considered. The features of siting station were analyzed depending on the monitoring purposes, measured pollutants. Influence of physical characteristics of territory and siting of pollution sources on a representativeness of urban station was considered. In this paper the main requirements to a choice of urban station for task of monitoring of air primary pollutants were formulated. Classification of the urban territory was carried out for Krasnoyarsk city. It is the large industrial center characterized by great number of industrial pollution sources, high intensity of traffic and heterogeneity orographical conditions.

Keywords: representative of air monitoring station, optimization of monitoring, urban territory classification

Традиционный подход к построению системы мониторинга атмосферного воздуха базируется на управлении источниками выбросов. Целью такого подхода является обеспечение соблюдения нормативных требований к качеству атмосферного воздуха и гигиенических нормативов – предельно допустимых концентраций (ПДК) химических и биологических веществ, соблюдение которых обеспечивает отсутствие прямого или косвенного влияния на здоровье населения [2,6]. Наблюдения за уровнем загрязнения атмосферного воздуха в городах принято проводить с помощью стационарных постов наблюдения.

Опыт обработки и анализа информации об уровне загрязнения атмосферы показывает, что при таком подходе трудно достоверно зафиксировать максимальные концентрации примесей, не удастся установить изменения содержания примесей в суточном и годовом ходе.

Репрезентативность пунктов отбора проб является крайне важным вопросом для оценки качества атмосферного воздуха. Развитие городской среды и хозяйственная деятельность (появление новых микрорайонов, автомагистралей, парков, промышленных объектов)

приводят к тому, что расположенные ранее на хорошо проветриваемых участках местности стационарные посты могут оказаться на «закрытых» участках (вблизи высоких зданий, на узкой улице, во дворе, под кронами деревьев или вблизи источника низких выбросов). Данные, получаемые с таких постов, будут характеризовать только сугубо локальные условия.

Анализ существующих методов размещения пунктов наблюдения в системах контроля атмосферного воздуха позволяет сделать вывод, что, во-первых, в настоящее время отсутствует единый подход, и, во-вторых, создание универсальной методики является сложной задачей в силу характера расположения городов, своеобразия источников выбросов, особенностей застройки и т.д. Ее решение существенно зависит от функций, которые должна выполнять система мониторинга. Малое число мест пробоотбора, вероятно, приведет к неточным оценкам уровней загрязнения. Увеличение числа пунктов наблюдения также не всегда приводит к статистически значимому улучшению оценки качества воздуха. Очевидно, что число проб должно зависеть от местных особенностей, ожидаемых вариаций измеряемых концентраций, а также размера области, в которой проводится исследование [4].

Большинство методик носит скорее рекомендательный и описательный характер, чем аналитический. В некоторых методиках используется статистический анализ результатов наблюдений, на основании которого определяются оптимальные расстояния между станциями, количество станций на единицу площади и т.д. Известна методика построения сети станций, в основу которой заложен принцип контролируемости всех паспортизированных источников выбросов при любом направлении ветра. Для ее разработки использовалась модель рассеивания вредных примесей в атмосфере и эвристическая процедура ранжирования потенциально опасных мест для установки станций.

В работе сформулированы основные требования к выбору пунктов наблюдения за качеством атмосферного воздуха в условиях городской среды. Оценка условий проведена для города Красноярск, являющегося крупным промышленным центром, характеризующимся наличием крупных источников выбросов, высокой интенсивностью движения автотранспорта и сложными географическими условиями. Критерии выбора мест отбора проб рассматривались для задачи мониторинга первичных загрязняющих веществ, основным источником которых в Красноярске является автотранспорт (CO, CO₂, NO, NO₂, взвешенные вещества).

1. Влияние задач исследования на требования к репрезентативности

Приоритетная роль в установлении требований к количеству и репрезентативности пунктов наблюдения за качеством атмосферного воздуха отводится целям исследования или программы мониторинга. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в городах может осуществляться для достижения одной из следующих целей [10]:

– оценка вклада трансграничного переноса в уровни загрязнения воздуха в городе;

- оценка влияния атмосферных осадков на загрязнение почв и водных объектов;
- изучение влияния глобальных климатических изменений на экосистему и уровни загрязнения (или процессы трансформации загрязнителей);
- изучение содержания твердых частиц и предшественников озона;
- снижение стоимости мониторинга за счет повышения эффективности имеющихся программ наблюдения;
- изучение вертикальных распределений основных загрязняющих веществ (таких как озон, твердые частицы и их предшественники) с целью улучшения качества математических моделей загрязнения воздуха;
- оценка экспозиций населения по мелкодисперсным частицам в целях установления их вклада в нарушения популяционного здоровья, оценки рисков для этого здоровья, а также контроля соответствия фактических уровней загрязнения нормативам допустимого содержания вредных веществ в воздухе.

В соответствии с федеральными законами № 7-ФЗ от 10.01.2002 «Об охране окружающей среды» и № 96-ФЗ от 04.05.1999 «Об охране атмосферного воздуха» основными задачами государственной федеральной службы наблюдения за состоянием окружающей природной среды являются:

- обеспечение проведения наблюдений за состоянием окружающей природной среды, оценка происходящих в ней изменений и прогнозирование опасных явлений и факторов; антропогенные изменения состояния окружающей природной среды; изменение климата;
- обеспечение всех уровней государственной власти данными о фактическом состоянии окружающей природной среды и прогнозируемых изменениях;
- обеспечение необходимой полноты и достоверности информации о состоянии окружающей природной среды, оптимизация использования наземных, авиационных и космических систем наблюдений.

Исходя из целей, различают два основных типа экологического мониторинга. Один из них может быть условно назван мониторингом «обзорно-диагностического» типа. Его цель заключается в выявлении кумулятивных экологических эффектов и последствий, обычно медленно нарастающих (и потому трудно уловимых) и постепенно охватывающих обширные акватории и территории на субрегиональном, региональном и даже глобальном уровнях. К этому типу можно отнести, например, долгосрочные региональные наблюдения за состоянием биоресурсов и их реакцией на климатические и экономические воздействия, оценку экологической ситуации в результате хронического загрязнения и другие подобные наблюдения экосистемного порядка, основанные на сборе и анализе результатов регулярных исследова-

ний и больших массивов экологической информации. Фоновый мониторинг импактных районов предполагает периодические долговременные наблюдения в районах, где хозяйственная деятельность запрещена или сведена к минимуму (биосферные заповедники, заказники, места обитания редких и исчезающих видов, пелагические области океана) [5].

Другой вариант наблюдений может быть назван мониторингом «соответствия». Он ведется с целью обнаружения отклонений от заранее установленных критериев либо для оценки достоверности прогноза развития экологической ситуации. Мониторинг «соответствия» чаще всего ограничен локальными масштабами. Его результаты служат основой для принятия или корректировки регулирующих мер природоохранного характера применительно к конкретному (как правило, локальному) источнику воздействия [5].

Программы регионального мониторинга включают периодические крупномасштабные наблюдения с целью оценки текущего состояния и выявления долговременных трендов изменения основных параметров обширных экосистем под влиянием природных и антропогенных факторов. Для регионального мониторинга трансграничных атмосферных загрязнений характерны следующие требования к выбору пробоотборных пунктов [7]:

1. Данные наблюдений должны быть характерны (репрезентативны) для максимально крупной площади, важно также отсутствие влияния локальных источников.

2. Размер площади, для которой данная станция репрезентативна, должен быть больше, чем пространственное разрешение атмосферных дисперсионных моделей, применяемых для оценки трансграничного загрязнения и выпадений загрязняющих веществ. В настоящее время пространственное разрешение в некоторых моделях доведено до 50×50 км.

3. Ситуация может быть более сложной, если пункт расположен в районе со значительными выбросами и вариации концентраций в воздухе вызываются как короткопериодными случайными флуктуациями метеопараметров, определяющих рассеяние и адвекцию, процессами выпадения и взаимодействия с поверхностью, так и различиями в экспозиции по отношению к доминирующим источникам выбросов в долгосрочной перспективе. Однако, на более долгопериодной основе вариабельность обычно существенно ниже и можно полагать, что при месячном или годовом усреднении пробоотборные пункты в районах с высокими значениями выбросов дают представительные результаты.

4. Станция должна быть репрезентативна по отношению к отбираемым воздушным массам. При размещении станции следует избегать долин или других мест, где возможен застой воздуха при определенных инверсионных условиях. Не следует также выбирать вершины гор и перевалы. Идеальным является открытое место в умеренно пересеченной местности или место на склоне, которое находится выше наиболее ярко выраженных ночных инверсий. Прибрежные пункты пробоотбора с выраженными суточными сменами ветра также не реко-

мендованы. Растительность является стоком для большинства загрязняющих веществ, следовательно, следует избегать ситуаций, когда растительность закрывает пункт пробоотбора.

Особые условия возникают при реализации программ производственного мониторинга. Так, выполнение работ по контролю за состоянием загрязнения атмосферного воздуха в промышленной и санитарно-защитной зонах проводится по двум направлениям [1]:

- контроль за выбросами на технологических установках и соблюдением нормативов ПДВ (отбор производится из устья труб, вентиляционных камер и других источников);
- проведение наблюдений в санитарно-защитной зоне и наблюдения за состоянием атмосферного воздуха в промышленной зоне предприятия.

Задачи производственного экологического контроля включают [1]:

- проверку выполнения планов и мероприятий по охране природы и оздоровлению окружающей среды, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов;
- соблюдение нормативов качества окружающей природной среды;
- выполнение требований природоохранительного законодательства.

Практически речь идет о самоконтроле предприятия за своей деятельностью в области охраны окружающей природной среды.

Локальный (оперативный) мониторинг проводится для оценки экологической ситуации и последствий хозяйственной деятельности на ограниченных участках, подверженных прямому техногенному воздействию, например при прокладке трубопроводов, бурении скважин и др. Главное назначение таких наблюдений – выявление зон и эффектов нарушения биотических и абиотических характеристик среды от воздействия, а также контроль за соблюдением природоохранных правил, норм и требований [5].

При планировании сети мониторинга в городской застройке должны учитываться следующие факторы [3]:

- расположение основных источников выбросов загрязняющих веществ;
- основные объекты, подвергающиеся воздействию загрязняющих веществ;
- погодные условия и топографические данные;
- результаты имитационного моделирования структуры рассеивания загрязнителей;
- информация о качестве атмосферного воздуха (например, полученная в результате скрининговых исследований);
- демографические данные и информация о состоянии здоровья населения.

Таким образом, на урбанизированной территории посты наблюдения должны быть ориентированы как на конкретные источники загрязнения, так и на регистрацию фонового загрязнения, оптимизированного с учетом оценки общей экспозиции населения (табл. 1) [3].

Государственная наблюдательная сеть за состоянием окружающей среды использует

более ограниченное число зон. Стационарные посты подразделяются на городские фоновые, промышленные (вблизи предприятий), авто (вблизи автомагистралей с интенсивным движением транспорта) и жилые. Для г. Красноярска такое деление является достаточно условным, так как практически все жилые районы расположены в зоне выбросов промышленных предприятий, отопительных и производственных котельных, автотранспорта.

2. Влияние перечня исследуемых компонент

При выборе мест для размещения пунктов наблюдения за качеством атмосферного воздуха следует учитывать пространственное распределение и изменчивость загрязняющих веществ в окружающей среде. Так, концентрации первичных загрязнителей на автомагистралях, в частности CO, оказываются самыми высокими на обочинах дорог, тогда как уровни озона характеризуются более равномерным пространственным распределением, но на придорожных участках его концентрации минимальны вследствие взаимодействия с оксидом азота, содержащимся в выхлопных газах автомобилей. В связи с этим, как правило, достаточно сложно добиться оптимизации измерений по всем загрязняющим веществам в одних и тех же пунктах наблюдения. Пространственная изменчивость таких вторичных загрязнителей, как NO₂ и O₃, значительно меньше, чем изменчивость первичных примесей, поступающих в атмосферу в результате выбросов, например, CO или SO₂ [3].

В связи с большим количеством источников, ответственных за выбросы взвешенных частиц, особое внимание при составлении программ мониторинга уделяют изучению их пространственного и временного распределения. Выбор точек для размещения стационарных постов мониторинга взвешенных веществ ориентирован, прежде всего, на те селитебные зоны, в которых сосредоточена основная часть населения. С учётом условий промышленного и транспортного загрязнения атмосферы взвешенными веществами, необходимо чтобы сеть

Таблица 1

Варианты расположения постов мониторинга с точки зрения оценки экспозиции [3]

Классификация места/участка	Описание
Центр города	Расположение в пределах города, за счет чего обеспечивается сбор репрезентативной информации об общей экспозиции населения в городе или в центральной части города, в частности в таких местах, как пешеходные дорожки (тротуары) или торговые зоны.
Городской фон	Расположение в пределах города вдали от источников загрязнения, что позволяет получать достаточно репрезентативную информацию об общегородском фоне.
Пригородные или жилые районы	Расположение на территории жилого района на окраине города.
У края тротуара или у дороги	Место для взятия проб в пределах 1–5 м от дороги с интенсивным движением.
Промышленная зона	Местонахождение промышленных источников загрязнения, обуславливающих образование долгосрочных или пиковых концентраций загрязняющих веществ.
Сельская местность	Открытая местность как можно дальше от дорог, жилых массивов и промышленных зон.
Прочие	Любое особое место вблизи источника загрязнения или посреди микросреды, возле важного объекта, подвергающегося воздействию загрязнителей (школа или больница).

постов мониторинга в целом охватывала и зоны с максимальной экспозицией, даже если в них проживает относительно малая часть населения. Для оценки необходимого количества постов мониторинга и выбора схемы их размещения полезен предварительный анализ пространственной картины загрязнения атмосферного воздуха по данным действующей государственной сети станций мониторинга взвешенных веществ или математического моделирования рассеивания выбросов. Кроме того, немаловажное значение имеет характеристика и размещение источников выброса частиц в атмосферу. Пространственное распределение частиц разного размера в связи с различными аэродинамическими характеристиками (в частности, скоростью седиментации) не совпадает, поэтому соотношение их в общем объеме взвешенных веществ может меняться с удалением от источника. Таким образом, пространственное распределение взвешенных веществ даёт лишь приблизительную предварительную оценку вероятного распределения их фракций.

При сравнении данных о качестве воздуха в различных городах возникает серьезная проблема, так как участки размещения пунктов наблюдения существенно отличаются друг от друга. Одни пункты размещаются на высотных зданиях, другие у земли в районах с интенсивным движением, третьи – в жилых районах с небольшим уличным движением и без промышленности, четвертые – в пригородах. Расположение пунктов наблюдения в непосредственной близости от источников выбросов влияет на величины измеренных концентраций. Поэтому для улучшения сопоставимости данных, полученных на различных станциях, должна существовать стандартизированная система их выбора и размещения.

На основании анализа данных о пространственном изменении концентраций СО в условиях городской застройки разработана упрощенная их классификация по шести различным категориям. Однако пространственное распределение других загрязнителей отличается от СО. Поэтому подобный анализ надо проводить для каждого загрязнителя с учетом диффузионных моделей рассеяния [4].

Для измерения специфических компонент выбор мест размещения станций контроля должен сопровождаться модельными расчетами рассеяния загрязнителей от конкретного источника.

3. Влияние физических характеристик территории

Для выбора мест размещения постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха необходимо детальное исследование орографических, аэрографических и теплофизических свойств контролируемых территорий.

Сложный рельеф местности, а также число и размещение основных промышленных и транспортных источников, метеорологические условия и другие факторы могут существенно повлиять на распределение концентраций поллютантов в пределах рассматриваемой зоны и

сделать его существенно неравномерным. В частности, точки мониторинга, расположенные вблизи от автотранспортных потоков, не имеющих мощных промышленных выбросов, обычно характеризуются концентрациями, существенно превышающими общегородской фон, в значительной мере зависящий от дальнего (в том числе, трансграничного) переноса.

Весьма важным является вопрос о розе ветров. Данные о повторяемости направлений ветра получают по результатам наземных наблюдений на метеорологических станциях. При этом «истинная роза ветров» должна характеризовать повторяемость направлений не приземного ветра на сложном рельефе, а направления невозмущенного подстилающей поверхностью ветрового потока набегающего на город и все его промышленные объекты. Информацию о повторяемости направлений этого невозмущенного потока можно получить по данным температурно-ветрового зондирования с поверхности 850 мбар (примерно 1200 – 1500 м над поверхностью земли).

Кроме того, пост должен располагаться на хорошо проветриваемом участке местности, который не подвергается воздействию отдельно стоящих зданий или локальных источников выбросов. При выборе площадки для поста необходимо учитывать, теплофизические свойства местности (поверхностей). Например, размещение поста на асфальте в результате перегрева поверхности и развития вертикальных потоков приведет к существенному искажению получаемой информации о загрязнении атмосферного воздуха в летний период [6].

4. Основные требования к размещению постов на примере города Красноярск

Исследования трансформации ветрового потока в Красноярске показали, что набегающий на город поток претерпевает сложные искажения, проявляющиеся в изменении направлений и скоростей ветра. При этом количество возможных направлений ветра в конкретной точке наблюдения определяется особенностью расположения зданий. Скорость ветра в городской застройке может, как увеличиваться, так и уменьшаться по сравнению с ее значением на метеостанции.

Изучение направлений и скоростей ветра совместно с морфологическими особенностями городской застройки позволяет выделить эффекты расщепления потока на отдельных строениях и их искажение на краях зданий, а также влияние проницаемости застройки и «эффекты отражения» от зданий.

Поле ветра на городской территории характеризуется появлением устойчивых, не типичных для метеостанции, направлений и повышенной повторяемостью штилевых условий. На некоторых пунктах наблюдения штилей наблюдается в два раза меньше, чем на метеостанции, характеризующей невозмущенный поток [8].

Комплексное влияние застройки на ветровой поток учитывается при типизации городской застройки. Пост мониторинга, располагаясь как можно ближе к геометрическому

центру зоны, должен быть удалён от источников загрязнения (в том числе от проезжей части улиц) и располагаться в местах, свободных от аэродинамических возмущений, создаваемых стенами, деревьями и т.п. Оптимальная высота отбора проб – 2-3 м от уровня земли [6].

Зоны должны выбираться с учетом параметров застройки, таких как высота зданий и плотность их расположения относительно друг друга. Ширина автомагистралей также должна приниматься во внимание в зонах, которые выбираются с целью оценки влияния автомобильных выбросов на качество атмосферного воздуха. Для комплексного учета этих факторов выполнена классификация типов застройки на примере города Красноярска (табл. 2) [9].

В изотропном типе застройке отсутствует выделенное направление ветрового потока, то есть скорость ветра одинакова во всех направлениях, и в случае невысоких зданий прак-

Таблица 2

Сравнение классификаций типов городской застройки

Тип городской застройки								
Изотропный					Анизотропный			
Городские климатические зоны [8]			Классификация авторов					
Характеристика зоны	Измененная территория ^а , %	Класс шероховатости	h < 15 м	h > 15 м	Ось симметрии первого порядка		Ось симметрии второго порядка	
					h < 15 м	h > 15 м	h < 15 м	h > 15 м
1. Интенсивно развитые районы с плотно расположенными высотными зданиями (башни)	> 90	8						
2. Интенсивно развитые плотно застроенные районы со зданиями 2-5 этажей (историческая часть города)	> 85	7				IV (70%)	I (75%) ^б	
3. Высокоразвитые районы с застройкой средней плотности с близко или отдельно стоящими зданиями (спальные районы)	70–85	7		III (65%) ^б				
4. Высокоразвитые районы с низкой и средней плотности застройкой с большими низкими зданиями (территории торговых центров)	70–95	5						
5. Среднеразвитые с низкой плотностью пригородные территории с 1-2 этажными зданиями (пригородное жилье)	35–65	6						
6. Смешанного назначения с большими зданиями на открытых территориях (больничные комплексы, университетские городки, аэропорты)	< 40	5	II (25%) ^б	III (30%) ^б	V (30%) ^б		I (40%) ^б	
7. Слаборазвитые территории с естественной или сельскохозяйственной плотностью застройки (пригороды, фермы)	< 10	4	II (15%) ^б		V (20%) ^б	IV (15%) ^б	I (30%) ^б	VI (25%) ^б

^а Доля площади рассматриваемой территории, занятая объектами городской инфраструктуры (здания, дороги, площади, спортивные сооружения и т.д.)

^б В скобках указана плотность застройки, рассчитываемая как отношение площади, занимаемой зданиями, к общей площади рассматриваемой территории

тически не снижается. Высокие здания в застройке такого типа снижают скорость набегающего на город ветрового потока до 30%.

В застройке с осью симметрии первого порядка существует одно выделенное направление, которое принимает ветровой поток независимо от его направления в невозмущенном состоянии. В застройке с осью симметрии второго порядка можно выделить два основных направления движения ветрового потока. Указанные в таблице 1 типы застройки II и III являются изотропными, IV и V имеют ось симметрии первого порядка, I и VI – второго порядка. Все эти направления, как правило, совпадают с направлением наиболее крупных автомобильных дорог.

Такая типизация городской застройки имеет ряд преимуществ перед стандартной типизацией, поскольку позволяет сразу учесть и ветровые характеристики, зависящие преимущественно от плотности застройки, высоты зданий и проницаемости территории [9]. Дополнительно необходимо учитывать рельеф территории через параметр высоты над уровнем моря и близость к источникам загрязнения атмосферы.

Таким образом для выбора мест размещения стационарных или временных постов наблюдения на городской территории необходимо выполнить типизацию городской застройки на основе предложенной схемы с помощью ГИС-технологий, позволяющих автоматизировать этот процесс. С помощью этого подхода для Красноярска было выделено 12 зон, характеризующихся различным набором описанных параметров и, следовательно, различными уровнями загрязнения.

Заключение

При выборе мест отбора проб необходимо учитывать тип застройки, который включает в себя целый комплекс факторов – плотность и проницаемость застройки, высота зданий, тип симметрии и функциональный класс, а также характеристики ветрового потока с учетом его трансформации при обтекании неровностей рельефа местности, зданий и сооружений.

Следует, однако, отметить, что мониторинг и натурные измерения параметров окружающей среды в условиях городской застройки не способны полностью обеспечить получение полных пространственно-временных характеристик загрязнения атмосферного воздуха. Для комплексной оценки уровней загрязнения атмосферного воздуха в городах необходимо сочетать мониторинг с другими методами получения данных – математическим моделированием, инвентаризацией выбросов загрязняющих веществ, интерполированием и картированием.

Список литературы

1. Абросимов А.А. Экология переработки углеводородных систем. – М.: Химия, 2002. – 608 с.
2. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов.
3. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека. Региональные публикации ВОЗ, Европейская серия, № 85. – Копенгаген, 2001. – 293 с.
4. Паращук Е.М. Автоматизированная система мониторинга воздушной среды как информационная поддержка принятия управляющих решений / Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. – Белгород, 2014. – 137 с.
5. Проект «Сахалин-1». Стадия 1. Обустройства и добычи. Оценка воздействия на окружающую среду: URL: <http://www.sakhalinenergy.ru/ru/library/folder.wbp?id=33b10680-211c-4100-b783-10e78f03dc7f>.
6. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы.
7. Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу. – 2002. – 294 с. URL: <http://www.nilu.no/projects/ccc/manual/index.html>.
8. Экологическая индустрия: ветровые потоки в городской застройке Красноярска / С.В. Михайлута, А.А. Леженин, О.В. Тасейко, М.А. Битехтина // Инженерная экология». – 2012. – № 3. – С. 26-37.
9. Air pollution dispersion within urban street canyons / O.V. Taseiko, S.V. Mikhailuta, A. Pitt, A.A. Lezhenin, Y.V. Zakharov. //Atmospheric Environment. – 43. – 2009. P. – 245-252.
10. Air Quality Observation Systems in the United States, Committee on Environment, Natural Resources, and Sustainability of the national science and technology council, 2013. – 96 p.

Рецензенты:

Мучкина Е.Я., д.б.н., профессор, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск;

Хижняк С.В., д.б.н., профессор, Красноярский государственный аграрный университет, г.Красноярск.