

В. Ф. Рапута^{1}, А. А. Леженин¹, В. А. Сурнин², А. О. Корунов²*

Анализ данных наблюдений длительного загрязнения атмосферы города Иркутска

¹ Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Научно-производственное объединение «Тайфун», г. Обнинск, Калужская обл.,
Российская Федерация

* e-mail: raputa@sscc.ru

Аннотация. Ввиду значительной антропогенной нагрузки и особенностей климатических условий исследования процессов атмосферного загрязнения г. Иркутска являются актуальной задачей. В зимний период времени уровни загрязнения бенз(а)пиреном территорий города могут многократно превышать предельно допустимые концентрации. С привлечением данных мониторинга на государственной сети наблюдений Росгидромета изучаются статистические закономерности длительного загрязнения атмосферы г. Иркутска. Выполнен корреляционный анализ линейных связей между результатами измерений среднемесячных концентраций бенз(а)пирена на постах города. По результатам проведенных исследований установлены значимые статистические связи между данными измерений на постах. Предложенный подход дает возможность контролировать результаты наблюдений на стационарных постах мониторинга города. Использование полученных зависимостей позволяет восполнить недостающие данные при нарушении непрерывности процессов измерений концентраций бенз(а)пирена и выполнить оценки ингаляционных рисков здоровью городского населения.

Ключевые слова: атмосфера, бенз(а)пирен, загрязнение, мониторинг, корреляционный анализ

V. F. Raputa^{1}, A. A. Lezhenin¹, V. A. Surnin², A. O. Korunov²*

Analysis of observational data of long-term air pollution in the city of Irkutsk

¹ Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk,
Russian Federation

² Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, Russian Federation

* e-mail: raputa@sscc.ru

Abstract. In view of the significant anthropogenic load and the peculiarities of climatic conditions, research into the processes of atmospheric pollution in the city of Irkutsk is an urgent task. In winter, the levels of benzo(a)pyrene pollution in city areas can many times exceed the maximum allowable concentrations. With the involvement of monitoring data from the state observation network of Roshydromet, the statistical regularities of long-term air pollution in the city of Irkutsk are studied. A correlation analysis of linear relationships between the results of measurements of the average monthly concentrations of benzo(a)pyrene at the posts of the city was performed. Based on the results of the studies, significant statistical relationships were established between the measurement data at the posts. The proposed approach makes it possible to control the results of observations at stationary monitoring posts of the city. The use of the obtained dependencies makes it possible to fill in the missing data in the event of a discontinuity in the processes of measuring the concentrations of benzo(a)pyrene and to assess the inhalation risks to the health of the urban population.

Keywords: atmosphere, benzo(a)pyrene, pollution, monitoring, correlation analysis.

Введение

Регулярный мониторинг химического состава атмосферы в городах РФ проводится на сети станций Росгидромета [1, 2]. При организации размещения станций по территориям городов учитывались результаты экспериментальных и теоретических исследований атмосферной диффузии примесей [1, 3 - 5]. Наблюдения выполняются по единой программе. Список измеряемых компонентов вредных примесей включает себя взвешенные вещества, окислы серы, азота, углерода, тяжелые металлы, формальдегид, бенз(а)пирен и др. Для проведения стационарных наблюдений обычно используются специальные павильоны. По определённым маршрутам могут также выполняться мобильные измерения атмосферных примесей. Совокупная информация, получаемая со стационарных и передвижных постов, позволяет оценить поля атмосферного загрязнения городских территорий [3, 6 - 8].

На протяжении многих лет г. Иркутск входит в список городов России с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха. На территории города функционируют более 250 промышленных объектов. Число стационарных источников атмосферных выбросов вредных примесей достигает несколько тысяч. Предприятия теплоэнергетики лидируют по выбросам загрязняющих веществ [9 - 11].

Данные мониторинга показывают, что фактически вся территория Иркутска подвержена высокому атмосферному загрязнению [12 - 14], существенно превышающему гигиенические нормы, что подтверждается результатами экспериментальных исследования снежного и почвенного покровов [15 - 17]. В силу особенностей климатических условий наиболее напряжённая экологическая обстановка возникает в зимние месяцы [18 - 20].

Применение методов численного моделирования процессов переноса примесей в атмосфере г. Иркутска позволяет рассчитать поля концентраций от различных типов источников [11, 21, 22]. Такой подход даёт возможность описать пространственную картину загрязнения с учетом рельефа местности, метеорологических условий, получить обоснованные рекомендации по снижению вредных выбросов.

По материалам Государственного доклада (2018 г.) «О состоянии и об охране окружающей среды в Иркутской области» среднегодовые концентрации многих примесей в г. Иркутске превысили санитарные нормы [23]. В частности, по взвешенным веществам - в 1,5 раза, по взвешенным частицам РМ 10 – в 1,3 раза, по бенз(а)пирену - в 7,8 раза. Максимальные разовые концентрации взвешенных веществ достигали 2,2 ПДК, диоксида серы - 2,0 ПДК, оксида углерода – 1,7 ПДК, диоксида азота – 3,0 ПДК, оксида азота – 3,3 ПДК, озона – 2,9 ПДК, сероводорода – 1,9 ПДК. Максимальная из среднемесячных концентраций бенз(а)пирена составила 25,3 ПДК.

Целью исследования является статистический анализ взаимосвязей среднемесячных концентраций бенз(а)пирена в атмосферном воздухе г. Иркутска, измеренных на постах Росгидромета.

Объекты и материалы исследования

Объектом исследования является территория г. Иркутска, подверженная процессам атмосферного загрязнения. Город расположен на юге Средне-Сибирского плоскогорья, на берегах реки Ангары в 66 км от Байкала. Климат резко континентальный, со значительными перепадами температур [20]. Город находится в зоне очень высокого потенциала загрязнения атмосферы [18, 19]. Степень загрязнения воздуха определяется большой частотой неблагоприятных метеорологических условий. В зимнее время отрог Сибирского антициклона формирует мощные температурные инверсии, способствует слабым ветрам и застоям воздуха. Как следствие возникают условия для длительного накопления загрязняющих примесей в пограничном слое атмосферы. Это обеспечивается большим количеством низких источников выбросов на территории города.

На рис. 1 представлена сеть стационарных постов Росгидромета в г. Иркутске для проведения наблюдений за загрязнением атмосферы (ПНЗА). Методическое руководство сетью осуществляет ФГБУ «Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». Сеть работает в соответствии с требованиями РД 52.04.186-89 [24].

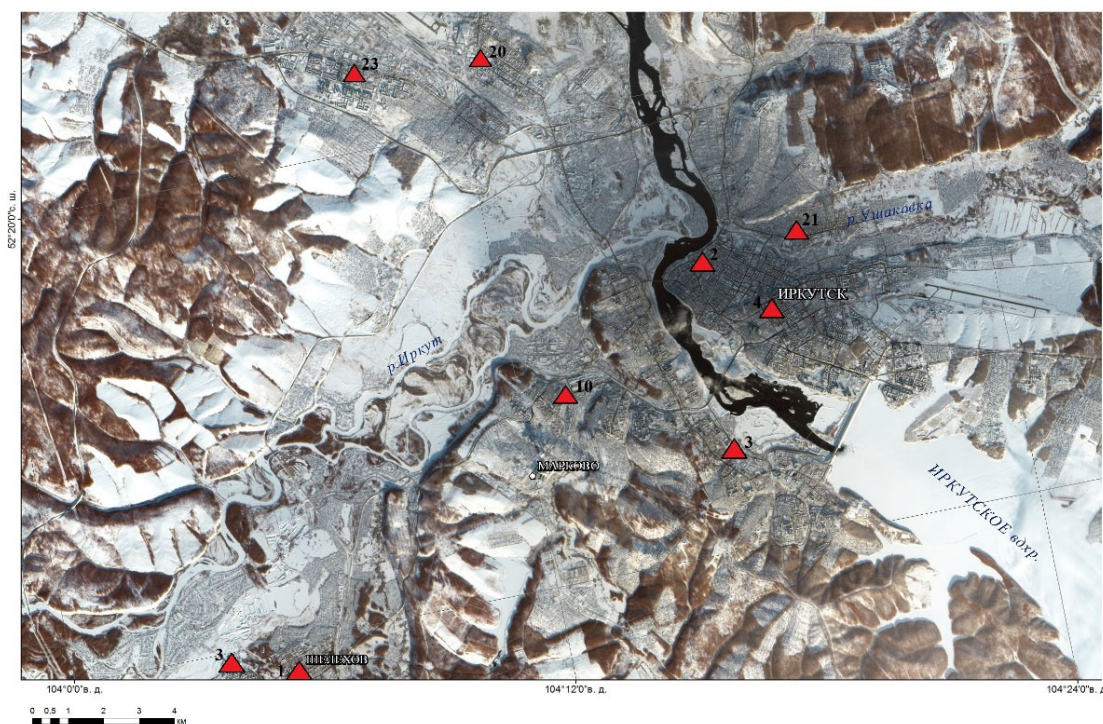


Рис. 1. Схема размещения стационарных постов контроля загрязнения атмосферного воздуха в г. Иркутске

В качестве подложки на рис. 1 использован зимний спутниковый снимок г. Иркутска. Загрязнение снежного покрова отражает уровни антропогенной нагрузки по территории города и его окрестностей, что может использоваться для проведения количественных оценок атмосферного загрязнения [15, 16].

Сеть постов охватывает все административные районы города. Станции условно можно подразделить на «городские фоновые», в жилых районах (ПНЗА №№ 2, 4, 23) и «авто», т.е. ПНЗА, расположенные возле автотрасс с интенсивным движением (ПНЗА № 3). Следует отметить, что наблюдения за БП в атмосферном воздухе города осуществляются лишь на трех постах (ПНЗА №№ 2, 3, 23). В связи с высоким загрязнением БП атмосферы города этого явно недостаточно. Данные измерений среднемесячных концентраций БП в городах РФ представлены на сайте НПО «Тайфун» [25].

Результаты и обсуждения

На рис. 2 приведены попарные корреляционные зависимости между значениями среднемесячных концентраций БП на постах г. Иркутска в 2017-2019 гг. Следует отметить, что сравнение проводилось по тем месяцам, для которых измерения выполнялись одновременно на обоих постах.

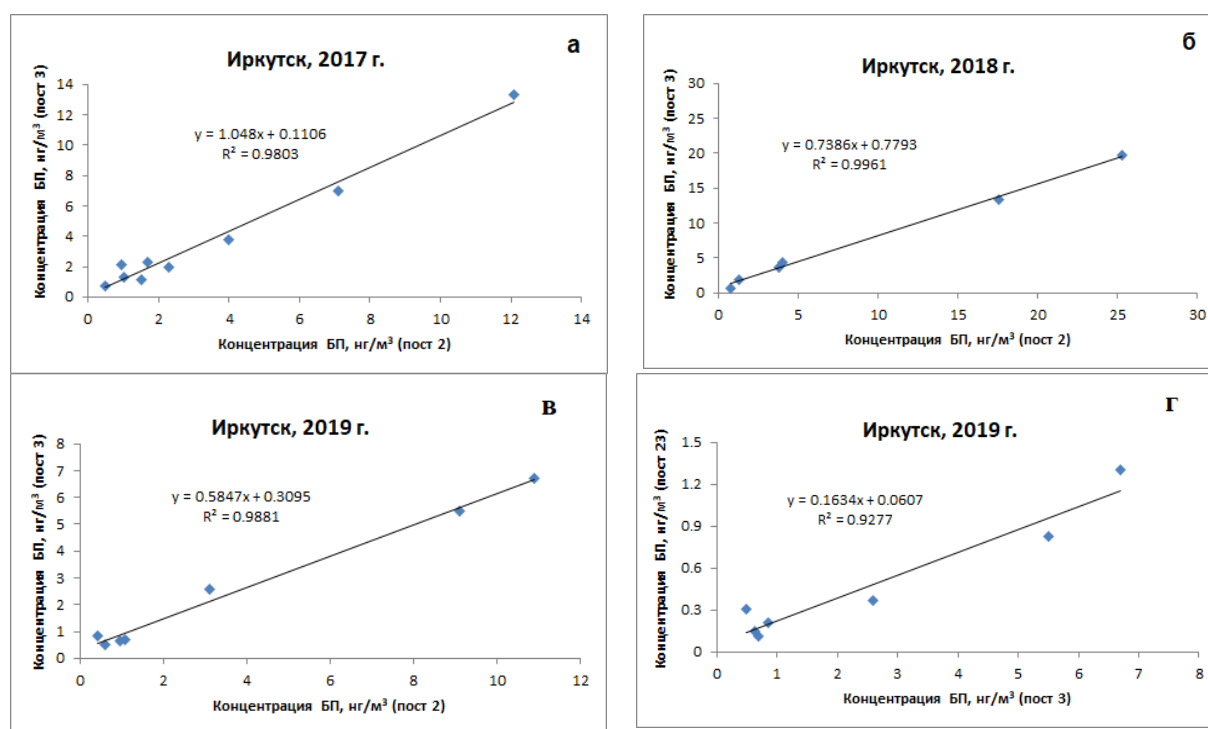


Рис. 2. Корреляционные связи между измеренными концентрациями БП ($\text{нг}/\text{м}^3$) на ПНЗА №№ 2, 3, 23 г. Иркутска в 2017 - 2019 гг.

Анализ рис. 2 показывает достаточно высокий уровень согласия между концентрациями на рассматриваемых постах в рамках линейной регрессии. В полученных зависимостях смещение линий регрессии относительно начала координат является незначительным, что указывает на согласованный характер изменения концентраций БП на территории города. Рис. 2а – 2в демонстрируют связь между сопоставимыми значениями концентраций на постах 2 и 3. Наблюдаемые же концентрации на посту 23 в 5 – 6 раз ниже, чем посту 3. Тем не менее статистическая связь между измеренными концентрациями БП на этих постах сохраняется.

На рис. 3 приведены значения среднемесячных концентраций БП для 2017-2019 гг. для ПНЗА №№ 2, 3.

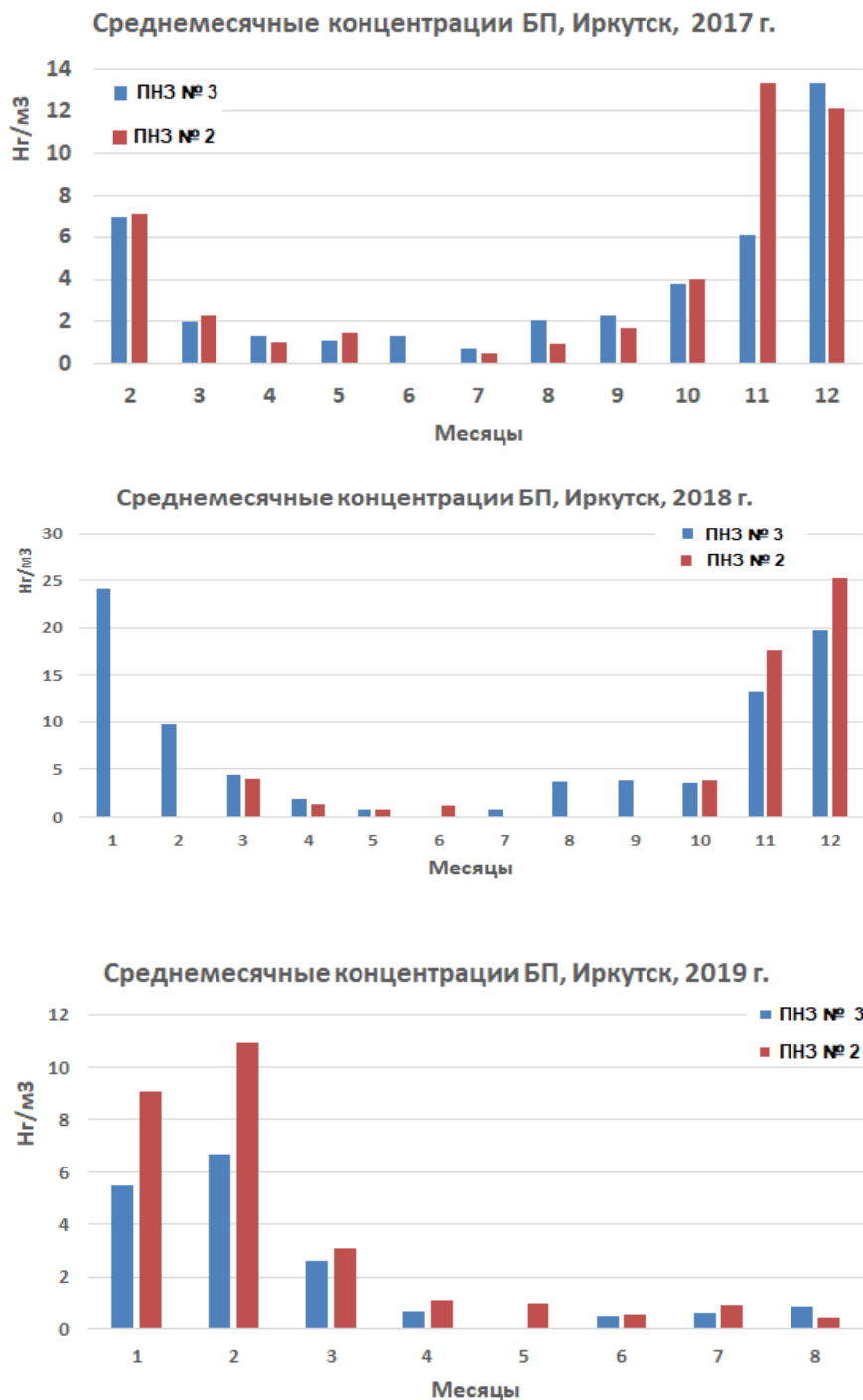


Рис. 3. Диаграммы среднемесячных концентраций БП на ПНЗА № 2 и № 3 г. Иркутска в 2017 - 2019 гг.

Рис. 3 показывает, что наиболее высокие уровни загрязнения БП атмосферы города наблюдаются в холодные месяцы и существенно превышают предельно

допустимые концентрации (ПДК=1 нг/м³). Особенно высокие значения, достигающие 25 ПДК, были зафиксированы в январе и декабре 2018 г. В летние месяцы уровни загрязнения БП достаточно умеренные, что может быть связано как со снижением объёмов сжигания органического топлива, так и с улучшением условий проветривания территорий г. Иркутска. Также следует отметить, что для летних месяцев согласно рис. 2 наблюдаются некоторые отклонения измеренных значений концентраций БП от линии регрессии.

Заключение

Проведённые исследования показали наличие тесных взаимосвязей между данными измерений среднемесячных концентраций бенз(а)пирена на постах Росгидромета г. Иркутска. Полученные регрессионные зависимости позволяют проводить дополнительный контроль достоверности результатов наблюдений на постах. При нарушении непрерывности процесса наблюдения за загрязнением БП атмосферного воздуха города использование этих зависимостей даёт возможность восполнить недостающие данные измерений.

На территории г. Иркутска наиболее неблагоприятные метеорологические условия для рассеяния примесей возникают в зимние месяцы, что способствует их накоплению в атмосфере города. Это следует принимать во внимание при разработке мероприятий по улучшению качества атмосферного воздуха. Органам законодательной и исполнительной власти необходимо располагать достоверной информацией о загрязнении атмосферы города и выбросах от промышленных предприятий. Для получения пространственной картины загрязнения территорий города целесообразно привлекать данные спутникового и наземного мониторинга загрязнения снежного покрова.

Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безуглая Э. Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 200 с.
2. Безуглая Э. Ю., Расторгуева Г. П., Смирнова И. В. Чем дышит промышленный город. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 256 с.
3. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 448 с.
4. Бызова Н. Л., Гаргер Е. К., Иванов В. Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 278 с.
5. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 448 с.
6. Грачёва И. Г., Оникул Р. И., Яковлева Е. А. Об интерполяции по территории города фоновых концентраций атмосферных примесей // Труды ГГО, 1998. – Вып. 549 – С. 98–107.

7. Raputa V. F., Kokovkin V. V., Morozov S. V., Yaroslavtseva T. V. Organic Carbon in the City Territories of the South of West Siberia // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2016. – Т. 24, № 4. – С. 483–489.
8. Рапута В. Ф., Леженин А. А. Анализ процессов длительного загрязнения атмосферы г. Искитима // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2020. – Т. 4. – № 1. – С. 137–141.
9. Ахтиманкина А. В., Аргучинцева А. В. Загрязнение атмосферного воздуха промышленными предприятиями г. Иркутска // *Известия Иркутского государственного университета*. Серия: Науки о Земле. – 2013. – Т. 6. – № 1. – С. 3–19.
10. Аргучинцева А. В., Годвинская И. Г., Ахтиманкина А. В. Загрязнение атмосферного воздуха предприятиями теплоэнергетики г. Иркутска // *Известия Иркутского государственного университета*. Серия: Науки о Земле. – 2011. – Т. 4. – № 1. – С. 33–47.
11. Верховина Е. В., Сафаров А. С., Макухин В. Л., Верховина В. А. Влияние выбросов Ново-Иркутской ТЭЦ на загрязнение атмосферного воздуха г. Иркутска // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. – 2016. – № 1. – С. 50–55.
12. Ахтиманкина А. В., Лопаткина О. А. Исследование динамики концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Иркутска // *Известия Иркутского государственного университета*. Серия: Науки о Земле. – 2014. – Т. 9. – С. 2–15.
13. Новикова С. А. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Иркутска // *Национальные приоритеты России*. – 2019. – № 1(32). – С. 50–56.
14. Вологжина С. Ж., Ахтиманкина А. В., Сутырина Е. Н., Потапова Е. В., Бархатова О. А., Новикова С. А. Зонирование территории Иркутской агломерации на основе оценки загрязнения атмосферного воздуха // *Актуальные проблемы науки Прибайкалья: Сборник статей / Ответственные редакторы И. В. Бычков, А. Л. Казаков*. – Том 3. – Иркутск: Иркутский государственный университет, 2020. – С. 53–58.
15. Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова: монография. - Л.: Гидрометеиздат. – 1985. – 182 с.
16. Маринайте И. И., Голобокова Л. П., Нецветаева О. Г., Филиппова У. Г., Агупова Т. М. Многолетние исследования атмосферных выпадений в г. Иркутске // *Известия Иркутского государственного университета*. Серия: Науки о Земле. – 2013. – Т. 6. – № 2. – С. 138–147.
17. Горшков А. Г., Маринайте И. И. Мониторинг экотоксикантов в объектах окружающей среды Прибайкалья. Часть I. Определение полициклических ароматических углеводородов в аэрозоле промышленных центров (на примере г. Иркутска) // *Оптика атмосферы и океана*. 2000. – Т. 13. – № 10. – С. 967–970.
18. Селегей Т. С. Формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах Сибири. - Новосибирск: Наука, 2005. – 347 с.
19. Безуглая Э. Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 184 с.
20. Климат Иркутска / Под ред. Ц. А. Швер, Н. П. Форманчук. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 246 с.
21. Аргучинцева А. В., Аргучинцев В. К., Лазарь О. В. Оценка загрязнения воздушной среды городов автотранспортом // *География и природные ресурсы*. – 2009. – № 1. – С. 131–137.
22. Зароднюк М. С., Кучменко Е. В., Моложникова Е. В., Маринайте И. И., Нецветаева О. Г. Восстановление полей загрязнения методами рецепторного моделирования на примере пос. Хомутово // *Оптика атмосферы и океана*. 2006. – Т. 19. – № 6. – С. 557–561.
23. Государственные доклады «О состоянии и об охране окружающей среды в Иркутской области». URL: [<https://irkobl.ru/region/ecology/doklad/>].
24. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. М.: Гидрометеиздат, 1991
25. Сайт НПО «Тайфун». URL: <https://www.rpatyphoon.ru> (дата обращения 10.04.2023)