



## **ЭКОЛОГО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА г. САРАНСКА ЗА 2000–2010 гг.**

**С. В. Меркулова, С. Е. Хлевина, П. И. Меркулов**

В статье рассматривается качество атмосферного воздуха г. Саранска за первое десятилетие XX столетия. Контроль за состоянием атмосферного воздуха Саранска осуществлялся на 4 стационарных постах. Из специфических примесей контролировались ртуть, формальдегид, бенз(а)пирен, тяжелые металлы, растворимые сульфиды, оксид азота. Загрязнение воздуха определялось по значениям средних и максимальных разовых концентраций примесей. Степень загрязнения оценивалась при сравнении фактических концентраций с предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Мониторинговое исследование включало в себя определение содержания в воздухе взвешенных веществ, диоксида серы, диоксида и оксида азота, оксида углерода, формальдегида, ртути, бенз(а)пирена и тяжелых металлов. Проанализирована динамика основных загрязняющих веществ, роль метеорологических факторов в определении уровня загрязнения атмосферного воздуха. Масштабы загрязнения, в первую очередь, связаны с мощностью выбросов, длительностью нахождения загрязняющих веществ в атмосфере и характером движения воздушных потоков, влияющих на рассеивание и концентрации поллютантов. Отмечается, что низкое качество воздуха в городе формировалось в основном за счет высокого содержания бенз(а)пирена и формальдегида. Средние концентрации последнего с 2000 по 2010 г. практически оставались на одном уровне и превышали ПДК. Максимальные значения за этот же период были выше ПДК и лишь в 2010 г. были немного снижены. Общий же тренд максимальных значений можно определить как понижающийся. Отмечено, что качество атмосферы Саранска остается неудовлетворительным, несмотря на некоторое снижение показателей загрязняющих веществ в течение рассматриваемого периода.

**Ключевые слова:** загрязнение атмосферы, индекс загрязнения, предельно допустимая концентрация, разовая концентрация, максимальная концентрация.

## **ECO-METEOROLOGICAL ASPECTS OF THE CHANGES IN THE AIR QUALITY THE CITY OF SARANSK FOR YEARS FROM 2000 TO 2010**

**S. V. Merkulova, S. E. Khlevina, P. I. Merkulov**

The article covers the problem of air quality of the city of Saransk in the first decade of the 20th century. Control over the air quality of Saransk is carried out on 4 stationary posts. The specific impurities were monitored include mercury, formaldehyde, benzo(a)pyrene, heavy metals, soluble sulfids, nitric oxide. Air pollution was measured by the values of the mean and maximum single concentration of impurities. The degree of contamination is estimated by comparison between the actual concentration with maximum permissible concentrations (MPC). Monitoring studies include the determination of the content of suspended solids in the air, sulfur dioxide, nitrogen oxide and dioxide, carbon monoxide, formaldehyde, mercury, benzo(a)pyrene and heavy metals. In the article the authors

have analyzed the dynamics of major pollutants, the role of meteorological factors in measurement of the level of air pollution. Extent of contamination is primarily related to the capacity of the emission duration of “residence” of pollutants in the atmosphere and peculiarities of movement of air currents that determine the processes of dispersion, removal or accumulation of these impurities in the atmosphere. The urban environment has a significant impact on these processes. In particular, the height of buildings, the layout of streets, placing of forest parks and water features contribute to the formation of special microclimatic conditions, which affect the dispersion and concentration of pollutants. It is pointed out that the poor air quality in the city was formed mainly due to the high content of benzo(a)pyrene and formaldehyde. Average concentration from the year 2000 to 2010 remained practically at the same level and were below the MPC. The maximum values for the same period were higher than the MPC and only in 2010 have become slightly lower than the MPC. The general trend of the maximum values can be defined as lowering. It was noted that the quality of the atmosphere in Saransk remains unsatisfactory, although the research have observed slight reduction of pollutants for the period under review.

**Keywords:** air pollution, air pollution index, maximum permissible concentration, single concentration, maximum concentration.

Атмосферный воздух является самой важной жизнеобеспечивающей природной средой, а его загрязнение – мощным, постоянно действующим фактором воздействия на человека и окружающую среду. Экологическое состояние воздушного бассейна городских территорий, определяющее во многом здоровье населения, остается одной из важных проблем на современном этапе развития человечества. Города являются центрами притяжения и скопления огромного количества людей, различных видов производств, инфраструктуры, транспорта – основного источника загрязнения атмосферы. Процессы, происходящие в атмосфере, наиболее трудно поддаются контролю, прогнозу и управлению, что затрудняет проведение природоохранных мероприятий [7].

Масштабы загрязнения, в первую очередь, связаны с мощностью выбросов, длительностью нахождения загрязняющих веществ в атмосфере и характером движения воздушных потоков, определяющих процессы рассеивания, выведения или накопления этих примесей [1]. Пределы линейного масштаба загрязнения лимитируются временем жизни вещества или продуктов его превращений в природных средах.

Атмосфера, как и вся природная среда в целом, обладает способностью к самоочищению. Метеорологические

условия оказывают существенное влияние на количество примесей, поступающих в атмосферу, велика также роль отдельных метеорологических элементов и их сочетаний в формировании уровня загрязнения воздуха в городах.

С точки зрения метеорологии, содержание газовых и аэрозольных примесей в воздухе того или иного района может изменяться под влиянием трех классов атмосферных движений, различающихся своими пространственно-временными масштабами: локальными, мезо- и макромасштабными. Процессы локального масштаба формируют уровни загрязнения непосредственно вокруг источника загрязнения на удалении до 20 км. Мезомасштабные обуславливают перенос и рассеивание примесей на расстоянии от 20 до 200 км от источника. Макромасштабные процессы формируют уровни загрязнения на удалении от источников от 200 до нескольких тысяч километров.

В настоящее время для определения уровня загрязнения атмосферы используются следующие характеристики: среднесуточная концентрация примеси в воздухе; максимальная разовая концентрация примеси; предельно-допустимая концентрация (ПДК); среднее квадратическое отклонение концентрации примеси; повторяемость разовых концентраций примеси в воздухе выше



5 ПДК; индекс загрязнения атмосферы (ИЗА); стандартный индекс загрязнения (СИ). В Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова для воздуха населенных мест разработаны и утверждены ПДК 411 веществ, оказывающих отрицательное воздействие на здоровье человека [3].

Уровень загрязнения воздуха зависит от объема выбрасываемых веществ и их химического состава, от высоты выброса и от метеорологических условий, определяющих перенос и рассеивание загрязняющих веществ. К последним относятся устойчивая стратификация и слабые ветры (4–6 м/с), а также туманы, аккумулирующие примеси и образующие вещества повышенной токсичности. Водяной пар поглощает и удерживает вредные примеси. Подобные процессы наблюдаются как у поверхности земли, так и в высоких, наиболее загрязненных, слоях воздуха. Следствием этого является возрастание концентрации загрязнителей в слое воздуха, насыщенного влагой (например, в туманах), и их уменьшение над ним. Растворимые газы в каплях тумана в результате химических реакций приводят к образованию более токсичных соединений, например серной кислоты. Туманы, как правило, являются необходимым условием для образования смога над крупными промышленными городами, способного удерживать высокую концентрацию загрязнений в течение продолжительного времени [5].

Благоприятные условия для накопления вредных примесей часто прослеживаются в малоградиентных барических образованиях – в антициклонах, размытых барических полях, а также в районах с наличием инверсии. Рассеиванию вредных примесей способствуют неустойчивая стратификация и сильные ветры, создающие интенсивное вертикальное и горизонтальное перемешивание, в результате чего концентрация вредных примесей уменьшается. При этом высота слоя перемешивания определяется не только характером развития

атмосферных процессов, но и временем года, подстилающей поверхностью и рельефом местности.

Наличие склонов на местности способствует возникновению разнонаправленных воздушных потоков – нисходящих и восходящих. В частности, на наветренных склонах местности, в прибрежных районах возникают восходящие потоки, которые в целом способствуют уменьшению концентрации загрязняющих веществ. И, наоборот, на подветренных склонах, над водоемами в летний период формируются нисходящие потоки, вызывающие повышение уровня загрязненности атмосферы у земной поверхности. Подобные процессы усиливаются в условиях межгорных котловин, где воздух застаивается во время антициклонов и концентрация загрязняющих веществ существенно увеличивается.

Большое разнообразие рассеивания примесей прослеживается в условиях городской застройки. Планировка улиц, их ширина, направление, высота зданий, зеленых массивов и водные объекты способствуют формированию особых метеорологических условий, существенно отличающихся от таковых на открытой местности. Прежде всего, в городской среде меняются скорость и направленность воздушных потоков, содержание влаги и температура. Ультраполярные и северные вторжения воздушных масс способствуют очищению атмосферы. Интенсивные атмосферные осадки очищают атмосферу от аэрозолей и некоторых газообразных примесей (на непродолжительное время) [2].

Уровень загрязнения атмосферы оценивается множеством различных показателей, в том числе комплексных. В этих показателях в качестве предикторов могут выступать различные характеристики: объемы производства; численность населения; количество сжигаемого топлива; масса загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух; измененные концен-

трации и т. д. В настоящее время разработано значительное число методик, применяемых на практике.

Одним из показателей химической активности атмосферы, ее важной характеристикой является коэффициент трансформации (КТ). Он указывает на химическую способность атмосферы перерабатывать поступающие в нее продукты выбросов. Именно поэтому характеристика степени трансформации является важным дополнением к информации о качестве воздуха городов и должна учитываться при планировании размещения промышленных предприятий, жилых микрорайонов, рекреационных зон.

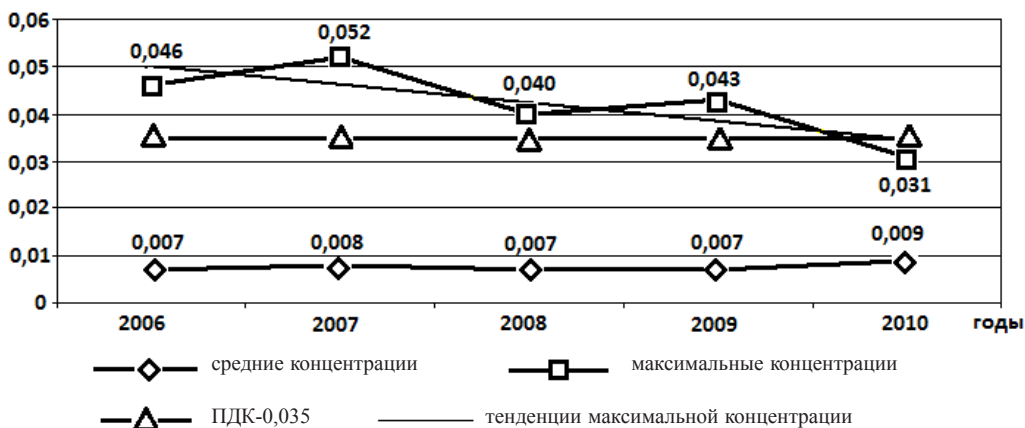
Исследования, выполненные по данным наблюдений за последнее десятилетие для территории Российской Федерации, показали заметное (от 20 до 60 %) возрастание КТ во многих физико-географических районах, указывающее на увеличение химической активности атмосферы [1]. При этом степень трансформации зависит от многих факторов, в том числе от метеорологических условий, определяющих очищение воздушного бассейна при переносе, рассеивании и вымывании примесей осадками, а также от усиления или ослабления скорости реакций при изменении тем-

пературы воздуха и количества приходящей на землю солнечной радиации.

Контроль за состоянием атмосферного воздуха г. Саранска осуществлялся на 4 стационарных постах (ПНЗ-2). Из специфических примесей контролировались ртуть, формальдегид, бенз(а)-пирен, тяжелые металлы, растворимые сульфиды, оксид азота. Загрязнение воздуха определялось по значениям средних и максимальных разовых концентраций примесей. Степень загрязнения оценивалась при сравнении фактических концентраций с ПДК.

Мониторинговое исследование атмосферного воздуха в Саранске включало в себя определение содержания в воздухе взвешенных веществ, диоксида серы, диоксида и оксида азота, оксида углерода, формальдегида, ртути, бенз(а)-пирена и тяжелых металлов [4].

Низкое качество воздуха в городе формировалось в основном за счет высокого содержания бенз(а)пирена и формальдегида. Средние концентрации последнего с 2000 по 2010 г. практически оставались на одном уровне и были ниже ПДК. Максимальные значения за этот же период превышали ПДК и лишь в 2010 г. были незначительно снижены. Общий же тренд максимальных значений определялся как понижающийся (рис. 1).

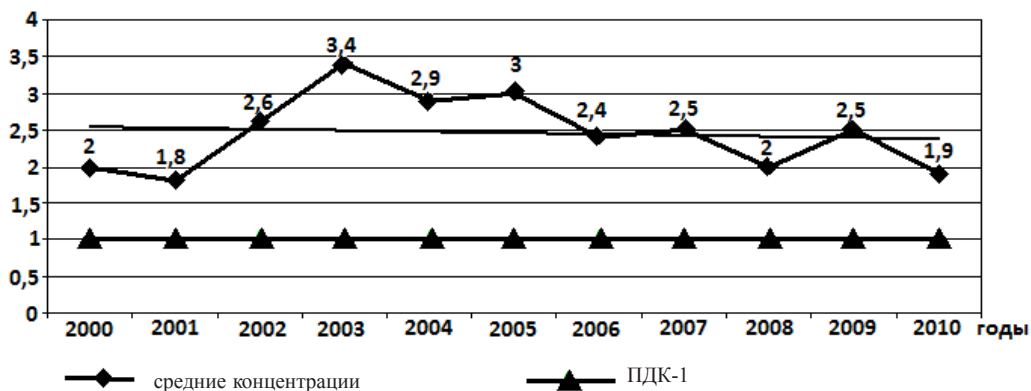


Р и с. 1. Динамика средних и максимальных значений содержания формальдегида по г. Саранску



Бенз(а)пирен является веществом 1-го класса опасности, он образуется при сгорании углеводородного жидкого, твердого и газообразного топлива (в меньшей степени при сгорании газообразного). Среднегодовая концентрация бенз(а)пирена

остается на уровне 2–3 ПДК, но в общем тренде за первое десятилетие XXI в. отмечается незначительное понижение. Самые высокие концентрации бенз(а)пирена были в 2003 и 2005 гг., а самые низкие – в 2000, 2001 и 2008 гг. (рис. 2).



Р и с. 2. Динамика средних значений содержания бенз(а)пирена в атмосферном воздухе г. Саранска

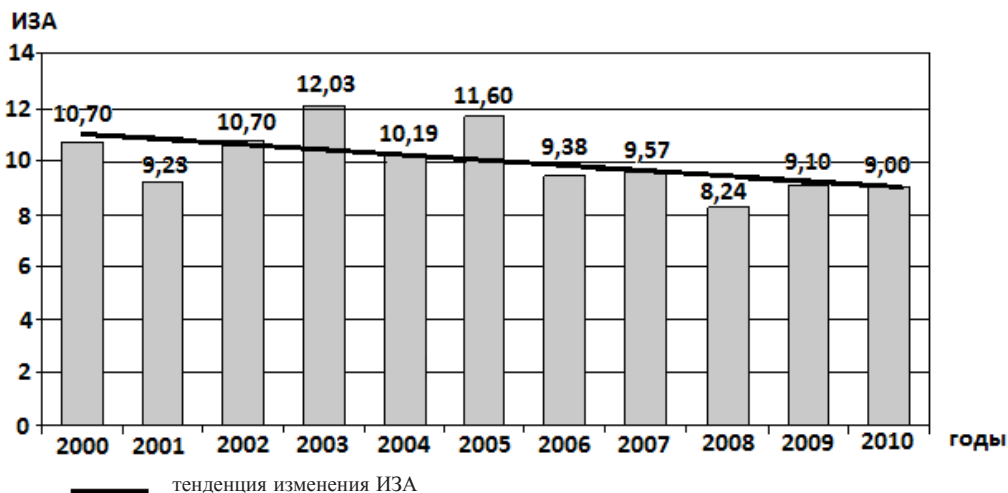
Наибольшие объемы диоксида азота в городах выбрасывают автомобили и теплоэлектростанции, работающие не только на ископаемых видах топлива. Диоксид азота также образуется при сжигании твердых отходов, чему способствует процесс горения при высоких температурах. Диоксид азота относится к приоритетным загрязняющим веществам в Саранске. Его содержание в атмосферном воздухе контролируется на всех постах контроля загрязнения атмосферы. В последние годы отмечается слабая тенденция к снижению содержания данного компонента в атмосфере.

Важнейшим источником поступления оксида углерода в окружающую атмосферу являются автотранспортные средства. Выбросы СО достигают пиковых концентраций при ограничении дорожного движения: на регулируемых перекрестках, а также в автомобильных пробках.

В последние годы заметно увеличилось количество автотранспорта на дорогах не только Саранска, но и других

городов, поэтому не удивительно, что происходит увеличение среднего содержания оксида углерода в атмосферном воздухе (до 40 %).

Как показатель качества воздуха используется ИЗА – комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей (формальдегид, бенз(а)пирен, оксид углерода, диоксид азота, взвешенные вещества). В соответствии с существующими методами оценки, уровень загрязнения считается повышенным при ИЗА от 5 до 6, высоким – от 7 до 13 и очень высоким – от 14 и более. Общая тенденция изменения ИЗА в Саранске за 10 лет показывает некоторое снижение, что, на наш взгляд, может быть объяснено некоторым снижением выбросов загрязняющих соединений промышленностью и существенным уменьшением взвешенных веществ за счет кардинального благоустройства городской территории. В то же время в Саранске загрязнение воздуха по ИЗА за все первое десятилетие текущего столетия характеризовалось как высокое (рис. 3).



Р и с. 3. Абсолютные значения и тенденция изменения ИЗА в г. Саранске

В период с 2000 по 2010 г. отмечается взаимосвязь уровней загрязнения с межгодовой изменчивостью метеорологических условий, способствующих накоплению или выведению загрязняющих веществ из атмосферного воздуха. В загрязненной атмосфере непрерывно происходят различные фотохимические реакции, при которых одни вещества, поступающие в воздушный бассейн с выбросами, преобразуются в другие, часто более токсичные и опасные.

Перечисленные поллютанты оказывают влияние на здоровье людей, проживающих в городах, что подтверждается многочисленными результатами проведенных исследований. В частности, выявлена тесная корреляционная связь между загрязнителями атмосферы и злокачественными новообразованиями. Прямая корреляционная связь существует между загрязнением воздуха формальдегидом и опухолями кожи (+0,69–0,71), легких (+0,50–0,69), почек (+0,69) и мозга (+0,54). Существуют определенные приоритеты и по половым признакам. У мужчин заболевания лейкозом обуславливаются присутствием в воздухе хрома, марганца и ванадия (+0,53), саркомой костей – кадмия (+0,56) и диоксида азота (+0,67).

У женщин прослеживается прямая корреляционная связь новообразований молочной железы с загрязнением воздуха оксидом азота (+0,80), кадмием и свинцом. Многие загрязняющие вещества оказывают на организм людей раздражающее и аллергенное действие, которое усугубляет течение многих заболеваний и повышает восприимчивость человека к действию агентов химической микробиологической природы [6; 8].

Приоритетным загрязнителем атмосферы Саранска (впрочем, как и других городов) является автомобильный транспорт, вырабатывающий почти 85 % всех поллютантов. Именно поэтому самые высокие показатели загрязнения воздуха фиксируются вдоль автомагистралей. Основными соединениями выхлопных газов, загрязняющих атмосферу, являются окиси углерода, взвешенные вещества, формальдегид и бенз(а)пирен.

По данным Регионального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга за 2013 г., Саранск по сравнению с другими территориями Республики Мордовия входит в группу риска по заболеваемости болезнями органов дыхания, в том числе бронхиальной астмой; болезнями эндокринной системы; ишемической болезнью сердца.



В последние десятилетия сотрудниками Санэпидемнадзора и учеными Мордовского университета проведены исследования по выявлению причинно-следственных связей между качеством атмосферного воздуха г. Саранска и здоровьем населения. Так, за 2000–2010 гг. прослеживается прогрессирование заболеваний бронхиальной астмой детей (в среднем двое детей из 1 тыс. вновь заболели). По сравнению с 2001 г. увеличение заболеваемости составило в 1,6 раза. В Саранске этот показатель был выше в 3,6 раза по сравнению с другими районами республики. Среди взрослого населения уровень заболеваемости бронхиальной астмой был значительно ниже (0,3 на 1 тыс. чел), и его увеличение составило в 1,5 раза по сравнению с 2001 г.

За последние 10 лет как в целом по республике, так и в Саранске выявлена тенденция к росту заболеваемости детей атопическим дерматитом; среди взрослого населения отмечен рост заболеваемости болезнями органов кровообращения, кожи и подкожной клетчатки, мочеполовой системы [8].

Выявленные закономерности загрязнения городского воздуха успешно применяются в практике анализа и прогноза повышенного уровня загрязнения. Прогностические разработки необходимы, прежде всего, для тех случаев, когда возможно регулирование выбросов, способствующих загрязнению воздуха, а также для правильного функционально-планировочного зонирования города как в условиях нового строительства, так и при реконструкции.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Безуглая, Э. Ю.** Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах / Э. Ю. Безуглая. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1986. – 200 с.
2. **Исаев, А. А.** Экологическая климатология : учеб. пособие / А. А. Исаев. – Москва : Науч. мир, 2001. – 458 с.
3. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере / Под ред. Э. Ю. Безуглой и М. Е. Берлянда. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1983. – 153 с.
4. **Меркулов, П. И.** Динамика самоочищающей способности атмосферы и биоклиматическая характеристика г. Саранска / П. И. Меркулов, С. В. Меркулова, К. О. Колокотрони // Проблемы региональной экологии. – 2009. – № 5. – С. 192–198.
5. **Меркулов, П. И.** Пространственно-временная изменчивость режима увлажнения и ее влияние на здоровье населения Республики Мордовия / П. И. Меркулов [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2012. – № 5. – С. 132–138.
6. **Меркулова, С. В.** Динамика климатического режима и его региональные аспекты : (На примере Республики Мордовия) / С. В. Меркулова, П. И. Меркулов, С. В. Сергеева // Региональные эффекты глобальных изменений климата (причины, последствия, прогнозы). – Воронеж : Науч. книга, 2012. – С. 153–155.
7. **Переведенцев, Ю. П.** Гидрометеорологические основы охраны окружающей среды : учеб. пособие / Ю. П. Переведенцев, Ю. Г. Хабутдинов, А. А. Николаев. – Казань : Казан. гос. ун-т, 2004. – 134 с.
8. **Степанов, Н. А.** Здоровье, заболеваемость и смертность населения Мордовии / Н. А. Степанов, И. Н. Пикалов. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2010. – 184 с.

*Поступила 18.09.2014 г.*

*Об авторах:*

**Меркулова Светлана Владимировна**, профессор кафедры экологии и природопользования географического факультета ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат географических наук, sve-merkulova@yandex.ru

**Хлевина Светлана Евгеньевна**, начальник ГУ «Мордовский республиканский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Россия, г. Саранск, ул. Щорса, д. 39), кандидат географических наук, [hlevinasv@mail.ru](mailto:hlevinasv@mail.ru)

**Меркулов Петр Иванович**, заведующий кафедрой физической географии географического факультета ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат географических наук, [pimerkulov@mail.ru](mailto:pimerkulov@mail.ru)

*Для цитирования:* Меркулова, С. В. Эколого-метеорологические аспекты изменения качества атмосферного воздуха г. Саранска за 2000–2010 гг. / С. В. Меркулова, С. Е. Хлевина, П. И. Меркулов // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 2. – С. 79–86. DOI: 10.15507/VMU.025.201502.079

## REFERENCES

1. Bezuglaya Y. U. Monitoring sostoyaniya zagryazneniya atmosfery v gorodakh [Monitoring of atmospheric pollution in cities]. Leningrad, Gidrometeo Publ., 1986, 200 p.
2. Isaev A. A. Ekologicheskaya klimatologiya: Uchebnoe posobie [Ecological climatology: a Training manual]. Moscow, The scientific world Publ., 2001, 458 p.
3. Klimaticheskie kharakteristiki usloviy rasprostraneniya primesej v atmosphere [Climatic characteristics of the distribution of impurities in the atmosphere], ed. by Y. U. Bezuglaya, M. E. Berland. Leningrad, Gidrometeo Publ., 1983, 153 p.
4. Merkulov P. I., Merkulova S. V., Kolokotroni K. O. Dinamika samoochishhayushhej sposobnosti atmosfery i bioklimaticheskaya kharakteristika goroda Saranska [The dynamics of the self-cleaning capacity of the atmosphere and bioclimatic characteristics of the city of Saransk]. *Problemy regional'noj ehkologii* = Regional environmental issues. Moscow, 2009, no. 5, pp. 192–198.
5. Merkulov P. I., Merkulova S. V., Khlevina S. E., Sergeicheva S. V. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' rezhima uvlazhneniya i ee vliyanie na zdorov'e naseleniya Respubliki Mordoviya [Spatial-temporal variability of moisture regime and its impact on population health of the Republic of Mordovia]. *Problemy regional'noj ehkologii* = Regional environmental issues. Moscow, 2012, no. 5, pp. 132–138.
6. Merkulova S. V., Merkulov P. I., Sergeicheva S. V. Dinamika klimaticheskogo rezhima i ego regional'nye aspekty (na primere Respubliki Mordoviya) [The dynamics of the climate regime and its regional aspects (for example, the Republic of Mordovia)]. *Regional'nye ehffekty global'nykh izmenenij klimata (prichiny, posledstviya, prognozy)* = Regional effects of global climate change (causes, consequences, predictions). Voronezh, "Science book" Publ., 2012, – pp. 153–155.
7. Perevedentsev Yu. P., Habutdinov Yu. G., Nikolaev A. A. Gidrometeorologicheskie osnovy okhrany okruzhayushhej sredy: Uchebnoe posobie [Hydrometeorological basics of environmental protection: a Training manual]. Kazan, Kazan University Publ., 2004. 134 p.
8. Stepanov N. A., Pikalov I. N. Zdorov'e, zaboлеваemost' i smertnost' naseleniya Mordovii [Health, morbidity and mortality of the population of Mordovia]. Saransk, Mordovia University Publ., 2010. 184 p.

### *About the authors:*

**Меркулова Светлана Владимировна**, professor Ecology and Environmental Management chair of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Ph.D. (Geography), [sve-merkulova@yandex.ru](mailto:sve-merkulova@yandex.ru)

**Хлевина Светлана Евгеньевна**, head of "Environmental monitoring and hydrometeorology center of the Republic of Mordovia" (39, Shchorsa str. Saransk, Russia).

**Меркулов Петр Иванович**, head of Physical Geography chair of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Ph.D. (Geography), [pimerkulov@mail.ru](mailto:pimerkulov@mail.ru)

*For citation:* Merkulova S. V., Khlevina S. E., Merkulov P. I. Ekologo-meteorologicheskie aspekty izmeneniya kachestva atmosfernogo vozdukhа g. Saranska za 2000–2010 gg. [Eco-meteorological aspects of the changes in the air quality the city of Saransk for years from 2000 to 2010]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 2, pp. 79–86. DOI: 10.15507/VMU.025.201502.079