

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 311.14.: 504.054
ГРНТИ 87.15.91

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОРОДОВ РОССИИ

Неудачин И.Г.

*канд. физ. мат. наук, доцент
ФГАОУ ВО "Уральский федеральный университет",
Ул. Мира, 21, Екатеринбург, Россия, 620002*

RUSSIAN CITIES ANALYSIS OF ECOLOGICAL INDEXES

АННОТАЦИЯ

Выполнено статистическое исследование экологических показателей городов. Определены города со средними, наибольшими и наименьшими значениями экологических показателей. Разработана методика сравнения экологических данных.

Произведен статистический анализ качества жизни горожан. Отслежена годовая динамика экологических показателей. Предлагаются различные механизмы перехода от нынешнего неблагоприятного состояния сочетания потребностей человека и возможностей природы к их оптимальному сочетанию.

ABSTRACT

A statistical study of environmental indicators of cities was performed. Cities with average, highest and lowest values of environmental indicators were identified. A method for calculating the environmental rating has been developed.

A statistical analysis of the quality of life of citizens was made. The annual dynamics of environmental indicators was tracked. Various mechanisms are proposed for the transition from the current unfavorable state of combining human needs and the capabilities of nature to their optimal combination.

Ключевые слова: экологические показатели, загрязнение городской среды, статистический анализ, частотный анализ, корреляционный анализ.

Key words: ecological indexes, urban pollution, statistical analysis, frequency analysis, correlation analysis.

Введение

Выполним анализ абсолютных и относительных экологических показателей городов России. Применение абсолютных показателей позволяет проанализировать количественные характеристики загрязнения атмосферы, воды и образования твердых отходов. Относительных показатели введем для объективного сравнения городской среды вне зависимости от размеров населенных пунктов. Используем инструменты описательной статистики и метод сравнительного анализа, для того чтобы определить города с экстремальной экологической обстановкой. Города с наилучшими показателями можно взять как прототипы для передачи опыта. Города с наихудшими показателями потребуют особого внимания и принятия мер усиления экологической безопасности. Выделим также типичные населенные пункты для анализа их экологии с целью прогноза в случае изменения их населения или площади. Установим тесноту статистической связи экологических показателей по значениям коэффициентов парной корреляции. Проследим годовую динамику загрязнения городской среды.

Абсолютные индикаторы загрязнения

Воспользуемся экологическими показателями Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации по 94 городам России [1, 2] в 2017 году. Выборки городов по конкретным

показателям могут быть меньшего объема из-за отсутствия необходимых данных.

Определяющими экологию являются площадь города и численность населения. Крупные города с большим населением загрязняют среду значительно больше, чем мелкие. Два города: Москва и Санкт-Петербург имеют 29% населения исследуемых 94 городов.

Относительные показатели

Нельзя применять абсолютные величины показателей [3] при сравнительном анализе. Очевидно, в этом случае самыми грязными окажутся Москва и Санкт-Петербург. Поэтому перейдем к вычислению относительных величин.

Относительный объем выбросов в атмосферу

С точки зрения физики есть три основные фазы распределения загрязнений: в атмосфере, в воде, твердые отходы. Исследуем показатели загрязнения воздуха, воды и твердых бытовых отходов по 94 городам РФ за 2017 год.

Рассчитаем относительный объем выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферу от стационарных источников, расположенных на территории 76 городов. Используем обозначение загрязнений воздуха в формулах В. Относительный объем выбросов вычислялся как отношение объема выбросов к численности населения Н. Первые три

места в порядке возрастания выбросов в атмосферу представлены в таблице 1.

Таблица 1

Первая тройка – выбросы в атмосферу на одного человека

Место	Город	В/Н (кг./чел.)
1	Севастополь	7.80
2	Брянск	20.62
3	Воткинск	23.18

Используем обозначение населения в формулах Н. Надо отметить первое место по чистоте атмосферы города Севастополь.

Нужно принимать значительные меры по улучшению экологии городам последней тройки (таблица 2).

Таблица 2

Последние три места по относительным выбросам в атмосферу

Место	Город	В/Н (кг./чел.)
73	Благовещенск	309.73
75	Астрахань	373.34
76	Липецк	646.58

Происходит значительное увеличение относительного загрязнения выбросами в атмосферу от города Благовещенск до последнего места. Последнее место 76 в распределении выбросов занимает город Липецк с сильно загрязненной выбросами атмосферой. Липецк идет с большим отрывом от соседней Астрахани. Последняя тройка состоит из городов далеко расположенных в распределении показателей по отношению к основной группе.

Относительные утечки воды

Известны утечки и неучтенный расход воды в системах коммунального водоснабжения всех 94 городов. Используем обозначение загрязнений воды в формулах Вд. Относительный объем утечки определялся как частное от деления утечек воды на показатель населения. Первые три места в порядке возрастания распределения показателей мы видим в таблице 3.

Таблица 3

Первая тройка городов по утечкам воды

Место	Город	Вд/Н (м ³ /чел.)
1	Магас	0.08
2	Ханты-Мансийск	3.77
3	Петрозаводск	4.31

Мы видим первое место по экологии воды города Магас. Заметим, что Магас – это город с минимальной плотностью населения. Первая тройка расположены очень плотно. Происходит незначительное падение показателей по

относительным утечкам воды от города Магас до третьего места в распределении показателей.

Нужно принимать значительные меры по устранению утечек воды городам последней тройки (таблица 4).

Таблица 4

Последние три места по утечкам воды на одного человека

Место	Город	Вд/Н (м ³ /чел.)
92	Южно-Сахалинск	92.11
93	Черкесск	138.43
94	Грозный	158.33

Последнее место по утечкам воды занимает город Грозный с утечками 158.33 м³ воды на одного человека в год. Предпоследний город Черкесск идет с большим отрывом от соседнего Южно-Сахалинска.

Удельные сбросы сточных вод

Вычислим удельные сбросы или относительные сбросы загрязняющих веществ со

сточными водами на одного человека. Эта величина равна частному от деления объема сброса сточных вод в поверхностные водные объекты на численность горожан. Удельные сбросы измеряются в тысячах м³/чел. Сравним относительные показатели, которые вычислены для 100 крупных городов за 2004, 2005, 2006 и 2008 годы. Удельные сбросы меняются от 12.175 в

Москве до 0.001 в городе Волжский. Т.е. обнаружен большой разброс этих значений по городам. Средние по всей совокупности относительные сбросы загрязняющих веществ равны 0.721. Типичным можно считать город Астрахань, чьи сбросы 0.724 ближе всего к средним значениям.

Объем образования твердых бытовых отходов

Определен относительный объем образования твердых бытовых отходов (отходов потребления) в

тоннах на человека для 89 городов. Используем обозначение твердых бытовых отходов в формулах Т. Относительный объем образования твердых бытовых отходов определялся как частное от деления веса твердых бытовых отходов на показатель населения. Первые три города в порядке возрастания относительных твердых отходов показаны в таблице 5.

Таблица 5

Первая тройка городов по твердым отходам

Место	Город	Т/Н (тонн/чел.)
1	Сыктывкар	0.125
2	Иваново	0.130
3	Можга	0.133

Первое место занял город Сыктывкар, появившийся только в третьей таблице. Впереди плотно распределенная тройка городов: Сыктывкар, Иваново, Можга. Самый большой

перепад показателей в первой тройке городов оказался по утечкам воды на одного человека.

Приходится принимать эффективно захоранивать твердые отходы потребления городам последней тройки (таблица 6).

Таблица 6

Последние три места по отходам потребления на человека

Место	Город	Т/Н (тонн/чел.)
87	Ульяновск	1.00
88	Анадырь	1.19
89	Великий Новгород	1.38

Происходит значительное падение относительных отходов потребления от города Ульяновск до последнего места 89 в распределении показателей. Последнее место 89 экологического рейтинга занимает город Великий Новгород с твердыми отходами потребления 1.38 тонн на одного человека в год. Два последних города Анадырь и Великий Новгород заметно оторвались от третьего с конца Ульяновска.

Статистический анализ качества жизни горожан

Многие из методик, определяющие уровень и качество жизни населения в России, составлены в соответствии с рекомендациями ООН и включают, наряду с другими, экологию. Экология оценивается по количеству проб воды, воздуха и почвы с превышением предельно допустимых концентраций вредных веществ к общему числу

проб и по величине площади территории региона. В частности, С.А. Айвазян подчеркивает, что располагая формализованной методологией измерения качества жизни, построенной на базе соответствующих статистических показателей мы получаем возможность определять стратегические цели в развитии человеческого общества; сравнивать различные ячейки этого общества по данному показателю; наконец, конструировать целевые критерии общественного благосостояния, условная оптимизация которых позволит определять оптимальные траектории социально-экономического и эколого-демографического развития [6].

Динамика загрязнения воды

Исследуем динамику загрязнения сточных вод по всей стране. Объем сброса сточных вод (млрд. м³) показан на рисунке 1 за 2000 – 2018 годы.

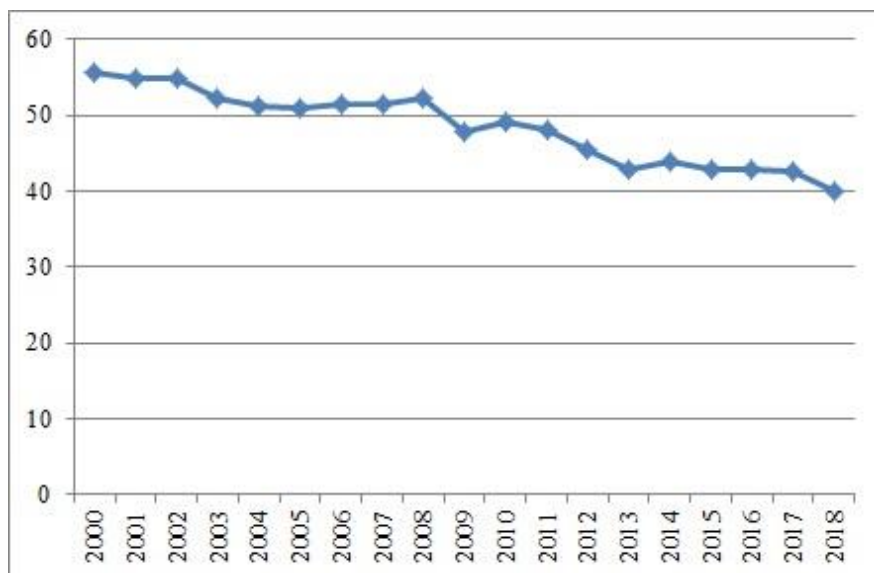


Рис. 1. Динамика загрязнения сточных вод по России

Мы видим монотонное падение поступления загрязняющих веществ со сточными водами в водоемы Российской Федерации. Загрязнение уменьшается от 55.6 млрд. м³ в 2000 году до 40.1 млрд. м³ в 2018 году.

Исследуем динамику поступления загрязняющих веществ со сточными водами в водоемы из крупных городов Российской Федерации. Есть данные с 2004 по 2006 год по 116 городам и за 2008 год по 125 городам с населением больше 100000 человек. Сравним абсолютные показатели, которые имеются у 103 городов за эти четыре года. Наибольшие сбросы 2756 тысяч м³ совершила Москва в 2004 году. Наименьшие сбросы 0.3 тысячи м³ дал Волжский в 2004 году. Получился значительный разброс данных в 9187 раз. В среднем по всему массиву данных было 163 тысяч м³ сбросов. Средние сбросы загрязняющих

веществ со сточными водами равномерно и монотонно убывают. То же, очевидно, можно сказать о суммарных загрязнениях от рассмотренных городов.

Образование твердых бытовых отходов

Проанализируем образование твердых бытовых отходов от населения в 87 городах для 2017 года. Получен линейный тренд

$$T = 0.514 * N - 6.063 \quad (1)$$

веса твердых бытовых отходов (Т) от населения, который представлен на рисунке 2. Коэффициент 0.514 обозначает, на сколько тонн увеличивает вес отходов в среднем один человек за год.

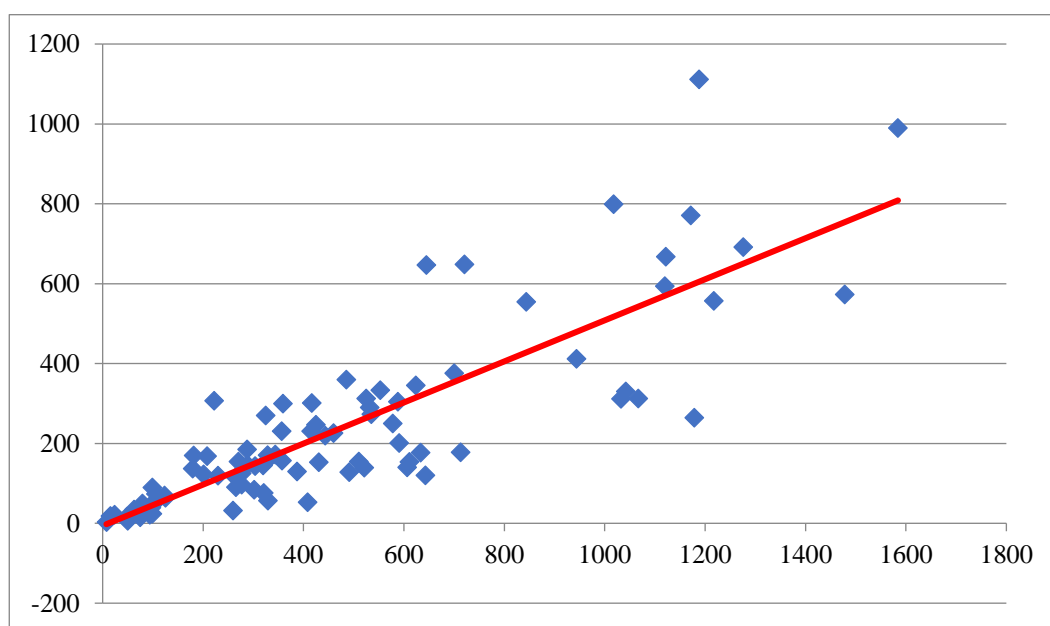


Рис. 2. Показатели веса твердых бытовых отходов

Имеет место разброс показателей веса твердых бытовых отходов около линии тренда.

Оценена линейная зависимость (регрессия) относительного показателя веса твердых бытовых отходов (ОТ) на человека от населения. Уравнение:

$$ОТ = 31.99 + 0.38 * Н \quad (2)$$

Относительный показатель веса твердых бытовых отходов измеряется в тонн/тыс. чел. или кг./чел. Скорость увеличения относительного показателя твердых бытовых отходов 0.38 определяется приростом населения городов. Стандартное отклонение этого коэффициента составляет 10.5%.

Динамика вывоза мусора

Исследуем динамику вывоза спецтранспортом бытового мусора с территорий городов Российской Федерации по имеющимся данным в 2005, 2006, 2008, 2010 и 2012 году. Есть данные, которые измеряются в тысячах м³, по 80 городам.

Анализируем абсолютные показатели, которые приведены для этих городов. Больше других городов 23015.7 тысяч м³ вывезла Москва в 2012 году. Наименьший производитель бытового мусора 1.4 тысячи кубических метров был город Назрань в 2005 году. Средний объем вывоза по всему массиву данных был 1479.1 тысяч м³. Средний вывоз бытового мусора возрастает с каждым годом. Он отмечен на рисунке 3 квадратным маркером.

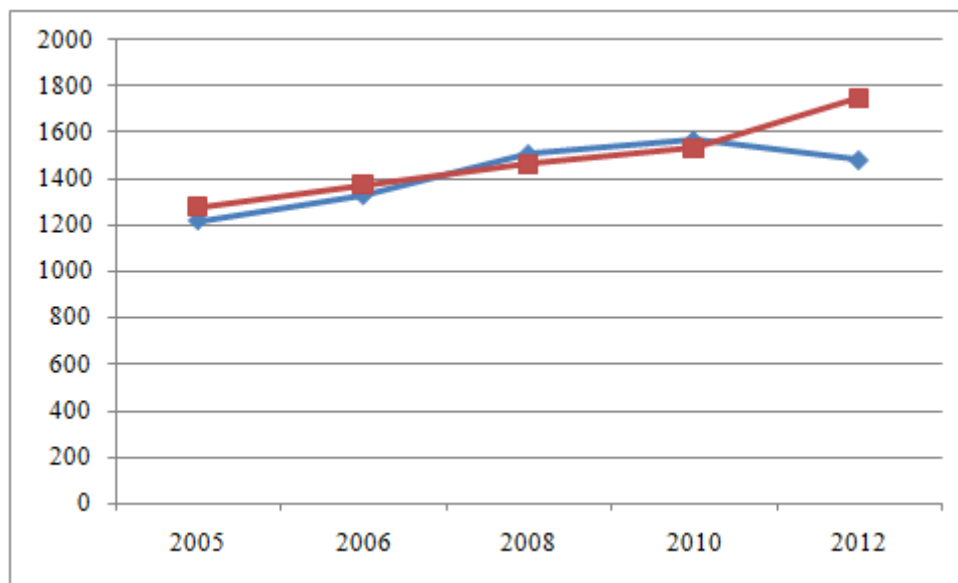


Рис. 3. Средний вывоз бытового мусора

Ближе всех других городов к среднему показателю, и поэтому типичным оказался город Кемерово (ромбический маркер).

Управление экологической безопасностью

Мало найти оптимальное сочетание потребностей человека и возможностей природы. Надо еще суметь перейти от нынешнего далеко не идеального состояния к этому оптимальному сочетанию. Для этого разработаны различные механизмы управления экологической безопасностью и охраной окружающей среды. Под словами «механизм управления» понимают совокупность тех или иных методов управления экономикой в целом и природопользованием как материальной основой экономики. Управление экологической безопасностью невозможно без объективной информации.

Есть системная закономерность, которую обнаружил математик Парето: меньшинство элементов системы определяют большинство ее недостатков. Выбросы в атмосферу двух городов Липецк и Омск составила 19% суммы выбросов изучаемой выборки 80 городов. Три города: Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород обеспечивают 31% утечек и неучтенного расхода

воды выборки 94 городов. Объем образования твердых бытовых отходов (отходов потребления) двух городов Москва и Санкт-Петербург составила 31.7% суммы твердых бытовых отходов исследуемой выборки 89 городов.

Загрязнение атмосферы

Опишем статистику объемов выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферу от стационарных источников, расположенных на территории 88 городов (тонн) в 2017 году. Максимальные выбросы 943164 тонны делает Москва. Минимальные выбросы 642 тонны допускает Магас. Отношение максимальных выбросов к минимальным выбросам равно 1469, т.е. невелико. Средняя величина загрязнения атмосферы городов составила 78168 тонн. Средний объем выбросов составил 16978 тонн. Суммарное количество городских выбросов составляет 6878826 тонн. Доля Москвы составила 14% от этой суммы.

Частотное распределение загрязнения атмосферы по имеющимся данным 88 городов в 2017 году изображено на частотной диаграмме Парето (рисунок 4).

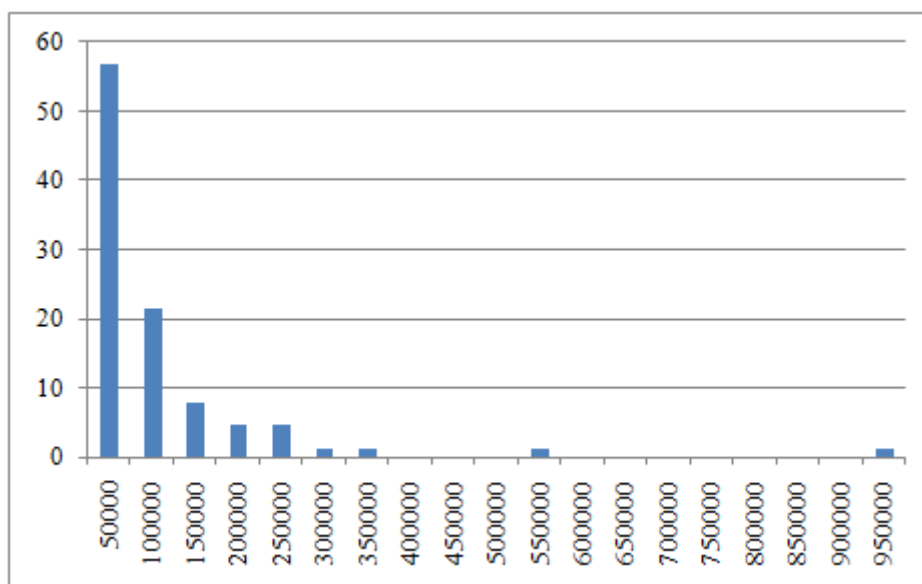


Рис. 4. Частотное распределение загрязнения атмосферы в %

Попадающая часть городов дает наименьший выброс загрязнений в атмосферу. А именно, 79.8% городов дает выбросов меньше 100000 тонн (первый столбец). С другой стороны малая, резко выделяющаяся часть городов, производит больше 300000 тонн выбросов в год – это Липецк, Москва и Санкт-Петербург. В соответствии с принципом Парето небольшое количество городов дают больше всего загрязнений. Липецк, Москва и Санкт-Петербург обеспечивают 26% общего загрязнения атмосферы 88 городов выборки (три последних столбца на диаграмме).

Есть данные выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников с 1992 по 2017 год. Наименьшие выбросы (2000 тонн) из обследованных 36 городов производил Екатеринбург в 2008 году. Больше всех других городов (508600 тонн) выдал выбросов Липецк в 1992 году. Обнаружено снижение средних выбросов (рисунок 5) в рассмотренном промежутке времени. Наименьшие выбросы стабильно с 2000 года дает город Ставрополь. Так же стабильно наибольшие выбросы в течении всего периода производят предприятия Липецка.

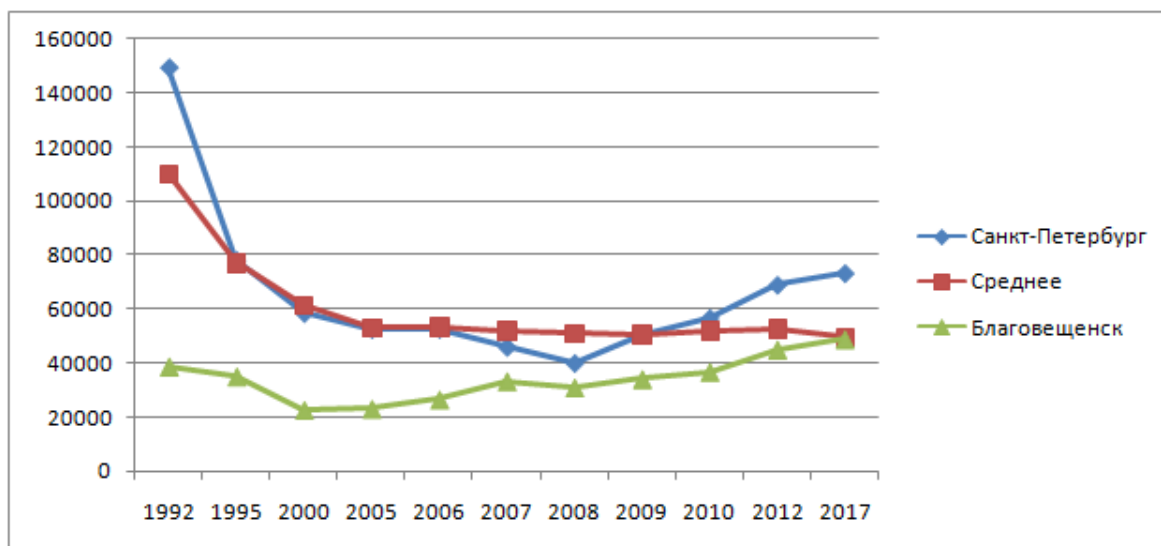


Рис. 5. Динамика выбросов

Наибольшие средние выбросы в атмосферу загрязняющих веществ (110044 тонн), отходящих от стационарных источников были в 1992 году. Установлено, что наименьшие средние выбросы в атмосферу загрязняющих веществ (49612 тонн), отходящих от стационарных источников были в 2017 году. На рисунке показано распределение выбросов Санкт-Петербурга, со значениями очень

близкими к средним значениям в 1995, с 2000 по 2006 и 2009 году. Оно имеет минимум в 2008 году. Другой пример – Благовещенск имеет выбросы (48970 тонн), почти совпадающие со средним значением в 2017 году. Выбросы этих городов растут в последние годы в отличие от средних городских выбросов.

Утечки и неучтенный расход воды

Утечки и неучтенный расход воды исследовались по имеющимся данным в 2017 году для 94 города. Максимальные утечки 116120.2 тысяч м³ допускает Москва. Минимальные утечки, всего 0.6 тысяч м³, допускает Магас. Отношение максимальных утечек к минимальным утечкам равно 193534, т.е. велико. Средний объем утечек составил 16978 тысяч м³. Суммарное количество городских утечек составляет 1595935.7 тысяч м³.

Рассмотрим частотное распределение утечек и неучтенного расхода воды в системах коммунального водоснабжения. Больше половины городов допускает небольшие утечки и неучтенный расход воды в системах коммунального водоснабжения. Конкретно, 55.6% городов дает утечек меньше чем 9000 тысяч м³.

С другой стороны лишь малая часть (1.23%) городов создает больше 40500 тысяч м³ утечек в год. Три города: Москва, Санкт-Петербург, Владивосток – обеспечивают 21.4% утечек и

неучтенного расхода воды исследованной выборки городов (три последних столбца на диаграмме).

Удельный вывоз бытового мусора

Проведем анализ удельного объема произведенного и вывезенного спецтранспортом бытового мусора с территорий 80 городов по данным в 2005, 2006, 2008, 2010 и 2012 году. Удельный объем бытового мусора определим как отношение вывезенного бытового мусора к численности городского населения (м³/чел.).

Самый большой удельный вывоз мусора, также как удельный сброс сточных вод, совершает Москва. Эта величина в 2012 году была 126.7 м³/чел. Меньше других городов 0.008 м³/чел. мусора Назрань в 2005 году. Не смотря на применение относительных показателей, есть огромный разброс данных в 16440 раз. Очевидно, что москвичи не экономят воду и много мусорят. Средний удельный объем вывоза мусора был 8.764 м³/чел. Средний удельный вывоз бытового мусора по годам отмечен на рисунке 6 ромбиками.

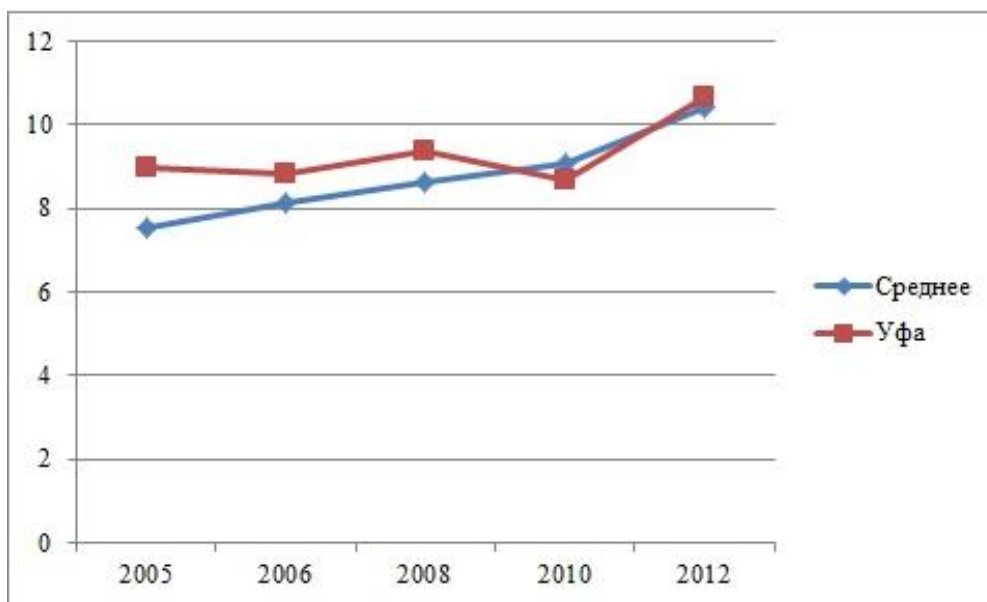


Рис. 6. Средний удельный вывоз бытового мусора

Типичным оказался город Уфа (квадратный маркер), чьи данные ближе всех других к среднему показателю.

Выводы

Цель и задачи анализа экологических показателей городов России, поставленные в работе, выполнены. Проанализированы относительные показатели загрязнения воздуха, воды и твердых бытовых отходов по 94 городам РФ за 2017 год. Надо отметить первое место по чистоте атмосферы города Севастополь. Последнее место 76 в распределении относительных выбросов занимает город Липецк с сильно загрязненной выбросами атмосферой. Первое место по экологии воды занял город Магас с минимальной плотностью населения. Последнее место по утечкам воды на одного человека в год занимает город Грозный с утечками 158.33 м³ воды. Первое место с наименьшим объемом образования твердых

бытовых отходов 0.125 тонн на человека занял город Сыктывкар. Последнее место занял Великий Новгород с твердыми отходами потребления 1.38 тонн на одного человека в год.

Исследована динамика объема сброса сточных вод по всей стране за 2000 – 2018 годы. Наибольшие сбросы 2756 тысяч кубических метров совершила Москва в 2004 году. Наименьшие сбросы 0.3 тысячи кубических метров дал Волжский в 2004 году. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о монотонном падении поступления загрязняющих веществ со сточными водами в водоемы Российской Федерации. Загрязнение уменьшается от 55.6 млрд. м³ в 2000 году до 40.1 млрд. м³ в 2018 году. Проанализирована динамика вывоза бытового мусора с территорий 80 городов Российской Федерации по данным в 2005, 2006, 2008, 2010 и 2012 году. Средний объем вывоза по всему массиву

данных был 1479.1 тысяч м³. Средний вывоз бытового мусора возрастает с каждым годом. Максимум мусора 23015.7 тысяч м³ вывезла Москва в 2012 году. Наименьший производитель бытового мусора 1.4 тысячи кубических метров был город Назрань в 2005 году. Следовательно, мы приходим к выводу, что основным источником загрязнения городской среды является человек.

Список литературы

1. Экологический рейтинг городов. URL: http://www.mnr.gov.ru/docs/ekologicheskij_reyting_gorodov.

2. Рейтинг экологического развития городов России 2017. URL: https://onf.ru/sites/default/files/projects_docs/21112017.pdf

3. Основные показатели охраны окружающей среды. URL:

http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1140094699578

4. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. URL: <https://www.gks.ru>

5. Неудачин И.Г. Статистика применения городских ресурсов для экологической безопасности // Colloquium-journal, Warszawa, Poland. – 2019. №18-1 (42). С. 21-30.

6. Айвазян, С.А. Анализ синтетических категорий качества жизни населения субъектов Российской Федерации. / С.А. Айвазян // Уровень жизни населения регионов России. – 2002. – №11. – с. 5 –40.