

УДК 311.313, 614.72

**Пшеничников Дмитрий Сергеевич**, студент  
кафедры физики и биомедицинской техники,  
Липецкий государственный технический университет  
г. Липецк, Россия

**Заворотний Анатолий Анатольевич**,  
к.ф.-м.н., доцент  
кафедры физики и биомедицинской техники,  
Липецкий государственный технический университет  
г. Липецк, Россия

**Оводова Дарья Александровна**, студент,  
кафедры физики и биомедицинской техники,  
Липецкий государственный технический университет  
г. Липецк, Россия

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ЗАБОЛЕВАНИЯ АКТИВНЫМ ТУБЕРКУЛЁЗОМ ОТ КОЛИЧЕСТВА ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ОКСИДОВ УГЛЕРОДА И АЗОТА

**Аннотация:** в работе проведен статистический анализ влияния выбросов оксидов углерода и азота в воздух на количество заболеваний активной стадией туберкулеза за 2022 год по ЦФО. Результаты работы позволяют сделать вывод о среднем влиянии указанных загрязняющих веществ на общее количество больных туберкулезом.

**Ключевые слова:** статистический анализ, активный туберкулёз, загрязнение воздуха, оксид углерода, оксид азота.

В связи с прошедшим коронавирусом, актуальность вопроса связи заболеваний с различными внешними факторами, например, промышленными выбросами, крайне высока. Несмотря на наличие и разработку всё более и более эффективных антибиотиков, туберкулёз всё ещё достаточно опасное заболевание, смертность от него составляет 12,3% [1]. Кроме этого, в XXI веке тяжёлая промышленность и связанные с ней различные проблемы стали обыденностью. Выбросы различных оксидов крайне опасны, например, оксиды углерода и азота. Первый приводит к физиологическим изменениям в организме человека (нарушение некоторых психомоторных функций головного мозга, изменения деятельности сердца и легких) [2], второй же способен вызвать потерю сознания, а также в ряде реакций превращается в опасный диоксид азота [3].

Поэтому вопрос связи между таким опасным лёгочным заболеванием, как туберкулёз и выбросами вредных оксидов углерода и азота как никогда актуален.

Вопрос связи между болезнями и выбросами загрязняющих веществ рассматривался неоднократно, например, в работах [4-7]. Так в статье [4] исследовалось влияние выбросов в атмосферу на аллергические заболевания детей, а в [5] изучалась роль загрязнения воздуха взвешенными веществами в патогенезе хронических заболеваний легких. В работе [6] анализировались выбросы в атмосферу и их связь с бронхолегочными заболеваниями у детей в Ярославской области. В публикации [7] был изучен вопрос наличия связи между загрязнением воздуха взвешенными частицами и патогенезом онкологических заболеваний. При этом половина работ выполнялась с привлечением статистических методов исследования, но не выделялось влияние именно оксидов углерода и азота на легочные заболевания.



В данной работе рассмотрено статистическими методами влияние выбросов в воздух оксидов углерода и азота на активную стадию заболевания туберкулезом в Центральном федеральном округе (ЦФО) за 2022 год (это наиболее свежие данные, находящиеся в открытом доступе сети Интернет). Исходные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1.

*Исходные данные*

Регион (область) ЦФО	Заболеваемость активным туберкулёзом за 2022 год, человек [8]	Выбросы оксида углерода за 2022 год, тонн [9]	Выбросы оксида азота за 2022 год, тонн [9]
Белгородская	232	35 519	19 893
Брянская	279	7 804	7 410
Владимирская	304	13 270	7 740
Воронежская	438	23 551	12 005
Ивановская	210	7 942	4 718
Калужская	220	11 823	7 086
Костромская	113	12 894	16 506
Курская	222	8 714	5 175
Липецкая	160	210 116	22 176
Москва	1359	9 297	34 399
Московская	120	53 935	43 865
Орловская	117	5 707	3 551
Рязанская	278	10 867	18 631
Смоленская	202	11 949	7 978
Тамбовская	282	12 794	4 296
Тверская	407	11 625	12 426
Тульская	193	61 551	19 751
Ярославская	2146	11 094	12 189

Для дальнейшего анализа систематизируем данные таблицы 1 в виде интервальных рядов, в которых количество регионов, с выбросами или общим количеством заболеваний в диапазоне того или иного интервала, будет являться его частотой (таблицы 2-4).

Таблица 2.

*Систематизированные данные для выбросов оксида углерода*

Интервал $x_{i+1} - x_{i+1}$ , тонн	Количество областей $y_i$	Накопленный показатель по выбросам $Q_i$ , %	Накопленный показатель по регионам $P_i$ , %
5707 – 46588	15	4,85	83,33
46588 – 87470	2	17,27	94,44
87470 – 128352	0	37,27	94,44
128352 – 169234	0	64,85	94,44
169234 – 210116	1	100,00	100,00



Для данного интервального ряда были рассчитаны следующие важные статистические показатели: среднее арифметическое значение  $\bar{x} = 53957,35$  тонн и стандартное отклонение  $\sigma = 71354,65$  тонн. Из этих показателей следует, что значения ряда сильно варьируются относительно среднего арифметического, попадающего во второй интервал распределения. Такой разброс значений может говорить о весьма сильной неравномерности выбросов в ЦФО. Также видна высокая частота значений первого интервала, что говорит о сравнительно низкой распространенности загрязнения воздуха оксидом углерода.

Рассмотрим аналогичным образом статистические данные для выбросов оксида азота в ЦФО (таблица 3).

Расчеты статистических показателей дали следующие результаты: среднее арифметическое значение  $\bar{x} = 11856$  тонн и стандартное отклонение  $\sigma = 15110,35$  тонн. Видно, что значения ряда имеют сильный разброс относительно среднего арифметического, что может быть следствием в различии количества выбросов по областям ЦФО.

Таблица 3.

*Систематизированные данные для выбросов оксида азота*

Интервал $x_{2,i+1} - x_{2,i+1}$ , тонн	Количество областей $y_2$	Накопленный показатель по выбросам $Q_2$ , %	Накопленный показатель по регионам $P_2$ , %
3551 – 11614	8	6,40	44,44
11614 – 19677	5	19,60	72,22
19677 – 27740	3	39,60	88,89
27740 – 35803	1	66,40	94,44
35803 – 43865	1	100,00	100,00

По таблицам 1 и 3 также видно, что все области, кроме Московской и г. Москвы, имеют низкие и средние показатели выбросов. Такой результат может говорить о сильной загазованности Московской области (вместе с г. Москва) большим количеством автотранспорта и соответствующих предприятий на их территории.

Как и для выбросов проведем сводку данных по заболеваниям туберкулезом в ЦФО (таблица 4).

Таблица 4.

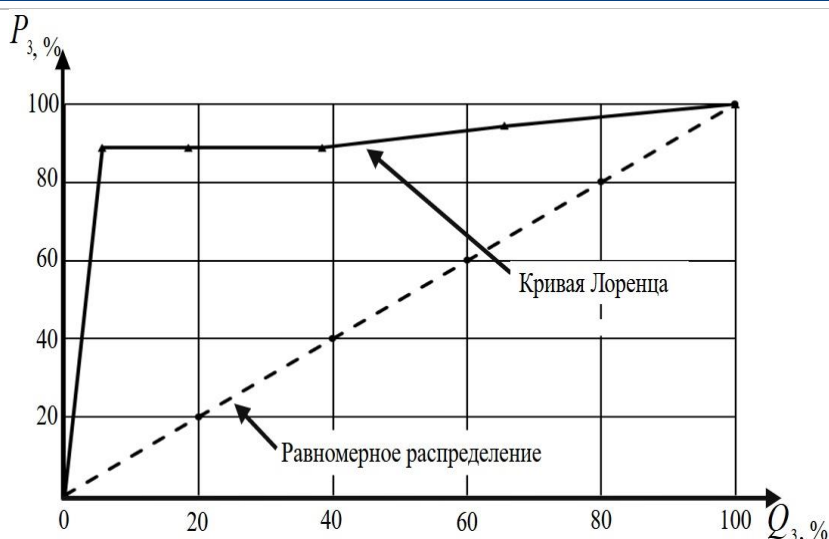
*Систематизированные данные по заболеваемости активным туберкулезом*

Интервал $x_{3,i+1} - x_{3,i+1}$ , чел.	Количество областей $y_3$	Накопленный показатель заболевших $Q_3$ , %	Накопленный показатель регионов $P_3$ , %
113 – 520	16	5,60	88,89
520 – 926	0	18,40	88,89
926 – 1333	0	38,40	88,89
1333 – 1739	1	65,60	94,44
1739 – 2146	1	100,00	100,00

Для полученного интервального ряда статистические показатели имеют следующие значения: среднее арифметическое  $\bar{x} = 566,55$  чел., стандартное отклонение  $\sigma = 731,95$  чел. Такие значения позволяют заключить, что значения ряда достаточно сильно варьируются относительно среднего арифметического.







$Q_3$  – накопленный показатель заболеваемости;

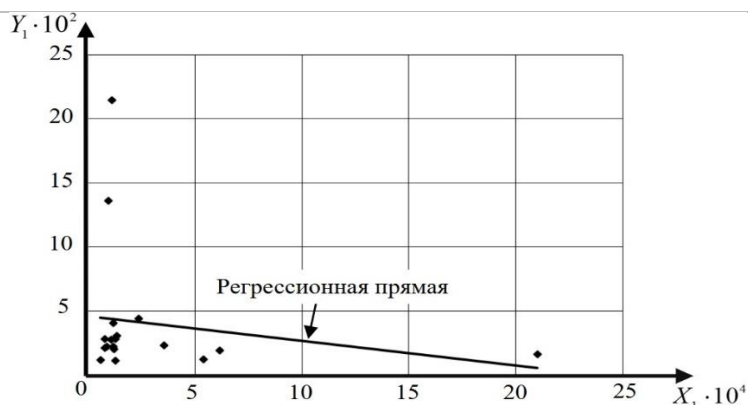
$P_3$  – накопленный показатель регионов

Рис. 2 – Кривая Лоренца для заболеваемости активным туберкулезом

Таким образом, предварительный статистический анализ изучаемых факторов позволяет сделать следующее заключение: все три выборки имеют неравномерное распределение с выраженной концентрацией значений в первой группе, но их величина сильно варьируется по отношению к среднему арифметическому. Это может быть связано с количеством введенных в эксплуатацию производств тяжёлого или химического профиля (сталепрокатные, сталеплавильные, коксо-химические заводы и т.д.), наличие системы очистки на предприятиях, количеством автотранспорта в области, загруженностью автодорог и т.д.

Перейдем к рассмотрению влияния выбросов на активную стадию заболеваний туберкулезом. Выделим две пары фактор-признак – оксид углерода-туберкулез и оксид азота-туберкулез. Это сделано с целью анализа влияния каждого из загрязнителей воздуха на заболеваемость. Ограничимся рассмотрением лишь однофакторного анализа с целью упрощения трактовки результатов.

Построим корреляционные поля, где точки с координатами  $(x_i, y_i)$ ,  $i=1, 2$  соответствуют числовым значениям выделенных пар фактор-признак. При этом сами значения берем по данным таблицы 1 по каждой области [10].



$X_1$  – количество выбросов оксида углерода, тонн;

$Y_1$  – количество заболевших, человек

Рис. 3 – Корреляционное поле оксид углерода-заболеваемость туберкулезом



На рис. 3 изображено корреляционное поле для пары оксид углерода-туберкулез. Видно, что большая часть точек сконцентрирована в области малых значений без видимой упорядоченности, что говорит о явной нелинейной связи. Для подтверждения этому на рисунке изображена также рассчитанная регрессионная прямая. Видно, что только малая часть точек поля находится вблизи нее.

Расчет коэффициента корреляции равен  $r=-0,18$ , что говорит о наличии очень слабой обратной связи, но обратная связь противоречит логическим выводам. Коэффициент детерминации равен  $r^2=0,03$ , из чего следует вывод, что лишь около 3% значений объясняют разброс точек корреляционного поля. Корреляционное отношение  $\eta=0,54$ , что по шкале Чеддока [10] указывает на весьма заметную связь между фактором и признаком, т. е. около 54% значений заболеваемости статистически достоверно могут быть объяснены выбросами оксида углерода.

Таким образом, получаем, что связь между выбросами CO<sub>2</sub> и заболеваниями есть, но является явно нелинейной.

Представим результаты регрессионного анализа, чтобы доказать нелинейную связь и убедиться, что она достаточно хорошо отображает ситуацию в генеральной совокупности пары фактор-признак, т.е. не только по ЦФО, но и для иных федеральных округов, а также годов.

Уравнение регрессии, описывающее связь между количеством выбросов оксида углерода и количеством заболевших туберкулезом изображена на рис. 3 и имеет следующий вид:

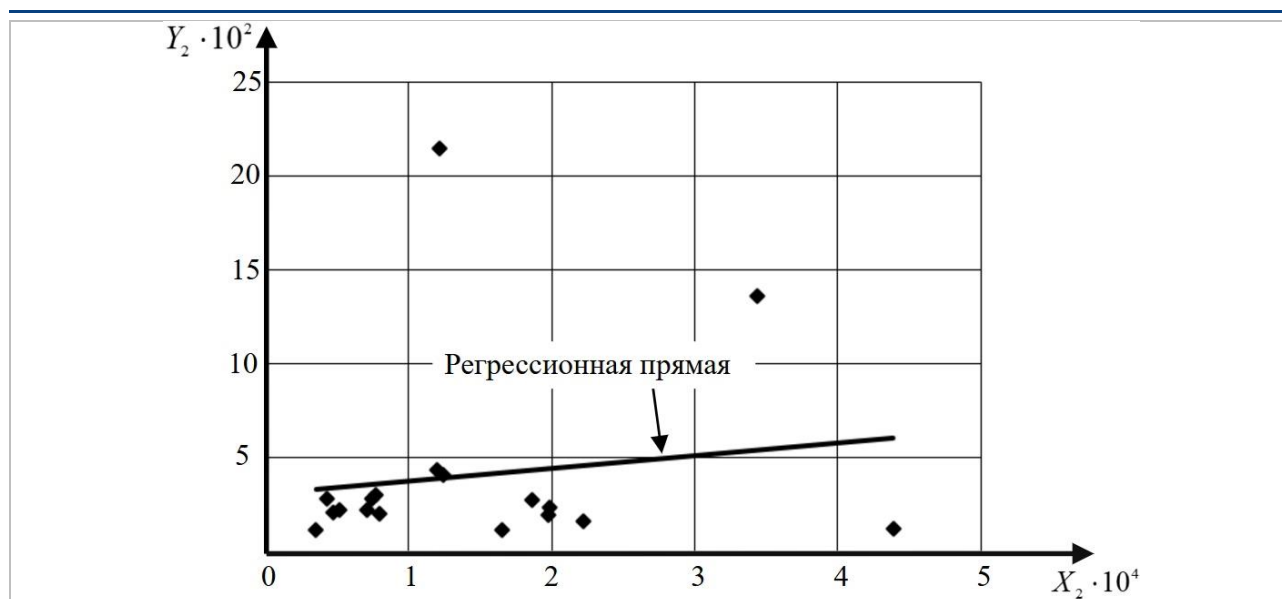
$$Y_1 = 460,2 - 0,002 \cdot X_1 \quad (1)$$

Расчёт доверительных интервалов для коэффициентов найденного уравнения (1) дает следующие результаты:  $152,34 \leq a \leq 768,09$ ;  $-0,008 \leq b \leq 0,004$ , где  $a$  – свободный член уравнения,  $b$  – коэффициент угла наклона линии регрессии по отношению к оси  $Ox$ .

Полученное уравнение регрессии проверено на репрезентативность истинному уравнению генеральной совокупности статистикой Стьюдента для каждого из коэффициентов уравнения (1). В результате получили, что значения  $a$  и  $b$  истинного уравнения лежат в доверительных интервалах, рассчитанных для уравнения (1). Значит регрессионная прямая (1) соответствует поведению связи фактор-признак в генеральной совокупности, то есть данное уравнение применимо не только к ЦФО, но и ко всем остальным округам РФ.

Аналогичным образом исследуем взаимосвязь между выбросами оксида азота и количеством заболевших активной стадией туберкулеза. Корреляционное поле этой пары фактор-признак изображено на рис. 4. Видно, что подавляющее большинство точек лежит в области малого количества больных, но по выбросам разброс достигает средних значений. При этом можно отметить, что практически все точки корреляционного поля располагаются вблизи некоторой прямой, но достаточно рассеяны по обе стороны от нее. На рис. 4 изображена также регрессионная прямая, которая немного смещена вверх из-за двух точек поля, явно выбивающихся из «общей картины» распределения.





$X_2$  – количество выбросов оксида азота, тонн;

$Y_2$  – количество заболевших, человек

Рис. 4 – Корреляционное поле оксид азота-заболеваемость туберкулёзом

Рассчитанный коэффициент корреляции равен  $r=0,14$ , что говорит о наличии слабой прямой связи. Коэффициент детерминации  $r^2=0,02$ , что указывает на тот факт, что лишь около 2% значений выбросов объясняют разброс получаемого результата влияний на количество больных. Корреляционное отношение составляет  $\eta=0,49$ , что согласно шкале Чеддока говорит об умеренной связи, т. е. около 49% значений заболеваемости могут быть объяснены выбросами оксида углерода [10].

Рассчитанное уравнение регрессии, описывающее линейную связь между количеством выбросов оксида азота и количеством заболевших туберкулезом, изображено на рис. 4 и имеет следующую аналитическую форму:

$$Y_2 = 305,79 + 0,007 \cdot X_2 \quad (2)$$

Доверительные интервалы, вычисленные для коэффициентов уравнения (2), получились следующими:  $-139,57 \leq a \leq 751,15$ ;  $-0,02 \leq b \leq 0,03$ .

Проверка на соответствие полученного уравнения регрессии (2) уравнению генеральной совокупности, т.е. возможности его применения на иные федеральные образования или на Россию в целом, при помощи статистики Стьюдента для каждого из коэффициентов уравнения регрессии показала, что (5) вполне отображает генеральное распределения взаимосвязи выброс-болезнь. Заметим, что в доверительные интервалы входит значение нуля, что указывает на тот факт, что вид взаимосвязи может варьироваться в зависимости федерального подразделения или от года исследования.

Для более точных выводов изучим, как оксиды углерода и азота вместе влияют на заболеваемость, проведя однофакторный дисперсионный анализ. Для определения более явного влияния факторов (выбросы оксидов углерода и азота) на признак (заболевание) были вычислены критерии Фишера [10], которые равны 2,13 (для пары оксид углерода-туберкулез) и 0,45 (для пары оксид азота-туберкулёз). Данные значения меньше табличных, а значит оба фактора выбросов обладают относительно низкой степенью влияния на число заболевших активным туберкулёзом. Таким образом дисперсионный анализ указывает, что имеются более значимые причины распространенности заболеваний в ЦФО, нежели те, которые были выделены нами.



В результате проведенного статистического анализа было выявлено, что выбранные загрязнители воздуха вполне могут являться причинами заболеваний туберкулеза, но они не являются ключевыми и скорее всего имеются иные факторы, которые в нашей работе не учитывались. При этом следует отметить, что часть болезней все же статистически объясняется выбросами оксида углерода и азота в окружающую среду, а значит рекомендуется усилить контроль на административном уровне по факту совершенствования мер защиты от этих загрязнителей.

В дальнейшем планируется продолжить изучение данного вопроса следующим образом:

- 1) провести исследования влияния других загрязняющих факторов на развитие туберкулёза;
- 2) расширить диапазон исследования и изучить выбросы и заболеваемость за 2021-2023;
- 3) сравнить результаты по ЦФО и иными федеральными образованиями.

*Список литературы:*

1. Lin, С-Н. Tuberculosis mortality: patient characteristics and causes / Chou-Han Lin [and etc.] // *ВМС Infectious Diseases*, 2014. – V. 14, No 5. – P. 1-8.
2. Аникушкин А.С., Григорчук К.В. Загрязнение атмосферы оксидами азота и углерода // *Успехи современного естествознания*. – 2006. – № 10. – С. 64-66.
3. Кузнецова В.Л., Соловьева А.Г. Оксид азота: свойства, биологическая роль, механизмы действия // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 4.
4. Хоха Р.Н. Связь загрязнения атмосферного воздуха и аллергических заболеваний у детей // Р.Н. Хоха, Н.С. Парамонова // «*Pediatrics. Eastern Europe*» 2016. – V. 4, No 2. – P. 231 – 238
5. Колпакова, А.Ф. О роли загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами в патогенезе хронических заболеваний легких / А.Ф. Колпакова, Р.Н. Шарипов, Ф.А. Колпаков // *Пульмонология*, 2017. – 27 (3). – С. 404-409.
6. Чуприкова Н.П. Статья «Загрязнение атмосферного воздуха и его связи с бронхолегочными заболеваниями у детей в Ярославской области» / Н.П. Чуприкова, П.В. Бережанский, С.О. Турчанинов / *Научно-исследовательские решения современной России в условиях кризиса: материалы XXVI Всероссийской научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 2* – Ростов-на-Дону: издательство Южного университета ИУБиП. – 2020. – С. 41-44.
7. Колпакова А.Ф., Шарипов Р.Н., Волкова О.А., Колпаков Ф.А. Роль загрязнения воздуха взвешенными частицами в патогенезе онкологических заболеваний. *Сибирский онкологический журнал* – 2021. – 20 (2): 102–109. – doi: 10.21294/1814-4861-2021-20-2-102-109.
8. Заболеваемость населения социально-значимыми болезнями по субъектам Российской Федерации [Электронный ресурс] – Электрон. дан. Реж. доступа [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Pril\\_Zdravooxran\\_2023.rar](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Pril_Zdravooxran_2023.rar): свободный.
9. Официальный сайт Росприроднадзора/ Информация об охране атмосферного воздуха [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Реж. доступа [https://rpn.gov.ru/upload/iblock/f00/hteбwn0ts8kbol7gy9ici3mhr2p67m3c/2\\_TP-\\_vozdukh\\_-za-2022-god.rar](https://rpn.gov.ru/upload/iblock/f00/hteбwn0ts8kbol7gy9ici3mhr2p67m3c/2_TP-_vozdukh_-za-2022-god.rar) свободный.
10. Громыко, Г.Л. Теория статистики / Г.Л. Громыко. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 476 с.

