

ДОЛГОВРЕМЕННОЕ ВЛИЯНИЕ ЛЕТНЕЙ ЖАРЫ 2010 ГОДА В МОСКВЕ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

В.А. Гордин^{1,2}, Е.А. Сахарова^{1,2}

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (ФГБУ «Гидрометцентр России»), 123242, Россия, Москва, Большой Предтеченский переулок, д. 11-13

Реферат

Введение. Жара в Москве в июле — августе 2010 г., сопровождавшаяся заметным загрязнением воздуха (в том числе дымом от торфяных пожаров), сильно повлияла на жизнь и здоровье жителей мегаполиса. Об этом свидетельствуют как данные о смертности, так и данные о суточном количестве выездов службы «Скорой помощи». Сильный пик в этот период наблюдается как на общих графиках зависимости от времени, так и для отдельных групп диагнозов. Но помимо этого для некоторых диагнозов существенно изменились тренды суточного количества как функции времени. Полученные оценки момента изменения тренда оказались близки по времени к жаре 2010 г. в Москве и достаточно устойчивыми к добавлению шума в исходные данные.

Цель исследования. Используя базу данных о выездах службы «Скорой помощи» г. Москвы за пять лет, выявить диагнозы, для которых наблюдается существенная смена тенденции суточного количества выездов как функции времени.

Материалы и методы. Использовался архив деперсонифицированных данных о выездах службы «Скорой помощи» г. Москвы с 1 января 2009 г. по 31 декабря 2013 г., т.е. за $N=1826$ суток. Данные разбиты на полусуточные смены. Общее количество диагнозов — 368. Известны пол и возраст пациентов. Все вычисления производились в среде MATLAB.

Результаты исследования. По архиву выездов службы «Скорой помощи» г. Москвы за пять лет выявлено несколько диагнозов, по которым произошла существенная смена тенденции (тренда) в ежесуточном количестве выездов.

Выводы. Помимо резкого увеличения количества выездов службы «Скорой помощи», для многих диагнозов обнаружены также такие диагнозы, для которых в летнюю жару 2010 г. в Москве произошла существенная смена тренда в суточном количестве выездов. Построен метод нахождения момента изменения тренда, который проверен на устойчивость к небольшим изменениям исходной статистики. Оказалось, что моменты излома графика (смены тренда) довольно точно совпадают с периодом аномальной жары 2010 г.

Ключевые слова: аномальная жара, последствия жары, тренд, метод наименьших квадратов, белый шум.

Введение

Жара в Москве в июле — августе 2010 г., сопровождавшаяся заметным загрязнением воздуха (в том числе дымом от торфяных пожаров), сильно повлияла на жизнь и здоровье жителей мегаполиса. Об этом свидетельствуют как данные о смертности, так и данные о количестве выездов службы «Скорой помощи». Сильный пик в этот период наблюдается как на общих графиках зависимости от времени, так и для отдельных групп диагнозов, см., например [1, 3].

Общее количество вызовов по всем диагнозам в г. Москве за период 2009–2014 гг. представлено на рис. 1.

Из рис. 2 следует, что летом 2010 г. температура была в течение нескольких недель выше, чем в другие года. Пик температуры лета 2010 г. наблюдался 29 июля.

В [1] (со ссылками на многочисленные работы зарубежных авторов) утверждается, что повышение смертности следует объяснять неблагоприятным сочетанием обоих факторов: высокой температуры и сильного загрязнения воздуха, в то время как в [3] для аппроксимации имеющейся медицинской статистики загрязнение не потребовалось (хотя и проверялось в качестве дополнительного влияющего фактора).

Для более надежных выводов нужен существенно больший архив данных, хотя и в указанных исследованиях уже использовались архивы с миллионами случаев.

В отличие от [1, 3] здесь исследуется не пик количества вызовов непосредственно в июле — августе 2010 г., а дальние последствия этой жары. Известно, что пострадали от нее в первую очередь

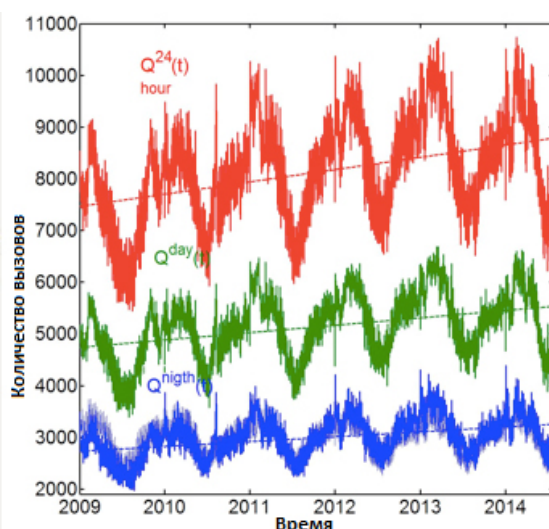


Рисунок 1. Многолетняя периодическая динамика общего суточного количества выездов «Скорой помощи» $Q^{24\text{hour}}(t)$ и отдельно для дневных $Q^{\text{day}}(t)$ и ночных $Q^{\text{night}}(t)$ выездов

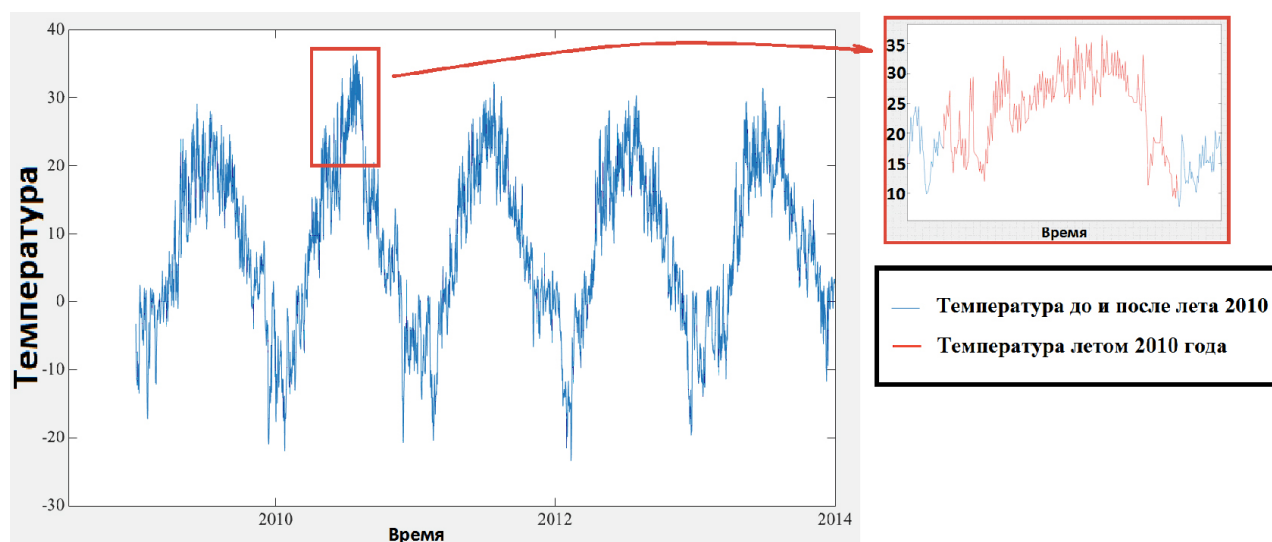


Рис. 2. Динамика температуры воздуха в Москве (синоптическая станция Балчуг) за 2009-2013 гг. (с уточняющей врезкой лета 2010 года: летний пик в 2010 г. выше остальных)

жители старших возрастов и(или) с ослабленным здоровьем. Следовательно, должен был несколько измениться демографический состав населения.

На доступной нам в настоящее время статистике выездов службы «Скорой помощи» г. Москвы оказалось возможным сделать выводы менее очевидные и, пожалуй, неожиданные.

Цель данного исследования — выявить диагнозы (см. §2), для которых наблюдалось существенное изменение трендов. Алгоритм (см. §1) построен таким образом, что момент (или моменты) смены тренда не определялся *apriori*, но вычислялся среди прочих параметров тренда непосредственно по данным архива выездов службы.

Анализ физиологических, социальных и т.п. причин, имевших следствием эти изменения трендов, не кажется нам простым. Здесь мы ограничиваемся

констатацией изменений трендов и оценкой параметров этих трендов статистики до и после жары.

Аппроксимация архивных данных существенно улучшится, если помимо трендов учесть различные колебания, сезонные и недельные [3]. Но здесь нас интересуют только тренды, описывающие изменения с временными масштабами в несколько лет.

Цель исследования

Используя базу данных о выездах службы «Скорой помощи» г. Москвы за пять лет, выявить диагнозы, для которых наблюдается существенная смена тенденции суточного количества вызовов как функции времени.

Материалы и методы

Объекты исследования

Используется архив деперсонифицированных данных о выездах службы «Скорой помощи» г. Мо-

сквы с 1 января 2009 г. по 31 декабря 2013 г., т.е. за $N=1826$ суток. Данные могут быть разбиты на полу-суточные смены. Известны возраст и пол пациентов и окончательный диагноз (их всего 368). В алгоритме данные, отвечающие какому-то диагнозу и, возможно, для какой-то подгруппы (по полу и возрасту) пациентов, обозначаются $\{f(t_j)\}_{j=1}^N$.

Методы исследования данных

Рассмотрим в качестве аппроксимантов непрерывные кусочно-линейные функции вида

$$g(t) = \begin{cases} at + b & \Leftarrow t \leq t_* \\ ct + d & \Leftarrow t \geq t_* \end{cases}, \text{ где } a, b, c, d, t_* = \text{const.}$$

Такая функция g непрерывна, если и только если эти пять параметров удовлетворяют соотношению

$$at_* + b = ct_* + d. \quad (1)$$

Для известной статистики суточного количества выездов по некоторому диагнозу $\{f(t_j)\}_{j=1}^N$ выберем те параметры, при которых достигается минимум функционала невязки

$$I[g] = \sum_{j=1}^N [f(t_j) - g(t_j)]^2 \rightarrow \min_{a,b,c,d,t_*}, \quad (2)$$

при условии (1).

Задача минимизации не является линейной, поскольку ее нужно производить на нелинейном подмногообразии размерности четыре. Заметим, что *a priori* при некоторых наборах чисел $\{f(t_j)\}_{j=1}^N$ минимум функционала может быть не единственен (он не квадратичный по параметру t_*). Но для рассмотренных диагнозов $\{f(t_j)\}_{j=1}^N$ минимум функционала невязки I оказался единственным.

По параметру t_* использовался перебор с малым шагом. Для каждого значения t_* при поиске минимума квадратичного функционала невязки I при условии (1) выразим параметр $d = (a - c)t_* + b$, а по трем остальным переменным проведем уже абсолютную минимизацию, которая сводится к решению системы трех линейных алгебраических уравнений.

Обработка числовых данных

Рассматривается архив выездов службы «Скорой помощи» за время «Скорой помощи». Перебор значений точки излома t_* начат с даты, которая на два месяца раньше, и ведется до даты, которая тремя месяцами позже, т.е. $t_* \in [29 \text{ мая } 2010 \text{ г.}, 29 \text{ октября } 2010 \text{ г.}]$. Границы перебора момента t_* можно отодвинуть и еще дальше, например, на весь 2010 г. — в нашем случае это не влияет на результаты.

Такой минимум невязки и такую ломаную функцию $g(t)$ всегда можно найти, но отнюдь не для лю-

бого из диагнозов тренд выборки $\{f(t_j)\}_{j=1}^N$ меня-

ется существенно. Введем критерий: тренд в момент t_* меняется существенно, если величина

$$K = \begin{cases} 180^\circ - \arctg \frac{f(t_*) - f(t_1)}{\text{Norm}^*(t_* - t_1)} - \arctg \frac{f(t_*) - f(t_N)}{\text{Norm}^*(t_N - t_*)}, & \text{при } a > 0 \\ 180^\circ - \arctg \frac{f(t_1) - f(t_*)}{\text{Norm}^*(t_* - t_1)} - \arctg \frac{f(t_N) - f(t_*)}{\text{Norm}^*(t_N - t_*)}, & \text{при } a < 0 \end{cases}$$

— угол излома (в градусах) удовлетворяет неравенству $30 < K < 180$, где

$$\text{Norm} = \frac{N}{\max_{1 \leq i \leq N} (f(t_i)) - \min_i (f(t_i))}.$$

Все вычисления производились в среде MATLAB.

Результаты по диагнозам, для которых динамика количества выездов «Скорой помощи» аппроксимируется ломаной с большим изломом.

На рис. 3-5 зеленые кривые — фактическое количество выездов с 1 января 2009 г. по 31 декабря 2013 г.; желтая ломаная — искомая аппроксимирующая функция.

По оси абсцисс отложено время t с разбивкой по годам и месяцам, буквами отмечены начала каждого сезона, например, «с» — сентябрь, начало осени. По оси ординат отложено суточное количество выездов «Скорой помощи» по данному диагнозу. Доверительные интервалы, величина угла K , рассматриваемый возрастной интервал и момент смены тренда t_* указаны в описании каждого рисунка.

По каждому диагнозу ниже приведены сравнительные таблицы 1-3 с разбивкой по полу и возрасту. Группы по возрасту рассматривались следующие: [0; 5]; (5; 15]; (15; 35]; (35; 55]; (55; 70]; [70; 120] лет.

Графики, как правило, построены агрегировано и по признаку пола, и по всем возрастам (от 0 до 120 лет), потому что именно в этом случае изменение тренда оказалось максимальным. Различия в зависимости от пола можно определить по сравнительным таблицам. Пусть ΔK — модуль разности (в градусах) углов излома для женской и мужской подгрупп. Для тех диагнозов, где различия статистики по полу существенны ($\Delta K > 15^\circ$) приведены отдельные графики для суточного количества выездов по поводу пациентов мужского и женского пола отдельно.

Будем считать изменение тренда статистически значимым, если количество пациентов, попавших (с 1.01.09 по 31.12.13) в определенную подгруппу по полу и возрасту, больше 10. В связи с этим в таблицах по диагнозам пропущены строки или в клетках таблицы стоят прочерки, если данная группа слишком малочисленна.

1. Диагноз: острый инфаркт миокарда, осложненный кардиогенным шоком

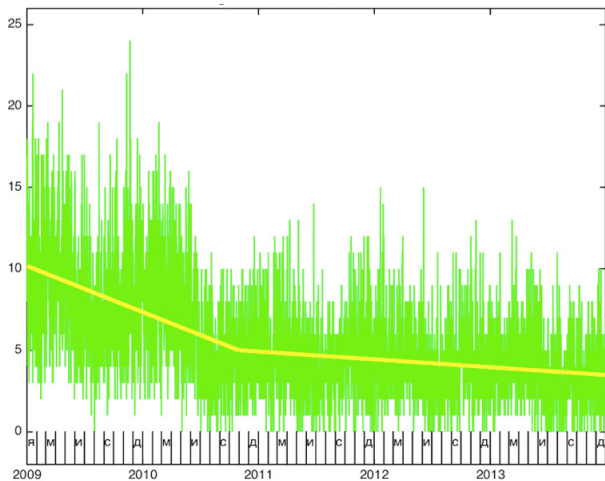


Рис. 3. Динамика количества вызовов по всем возрастам для обоих полов по диагнозу «острый инфаркт миокарда, осложненный кардиогенным шоком». $K = 155,2^\circ$, $t_* = 28$ октября 2010 г.

Таблица 1

Значения параметра K (в градусах) для всех возрастов и для возрастных групп: от 55 до 70 лет и для тех, кто старше 70 лет.

Жирным шрифтом выделена группа, для которой тренд меняется максимально, т.е. угол K минимален

Возраст (годы)	оба пола	мужской	женский
0 – 120	155,2	160,9	157,8
55 – 70	157,6	167,2	168,3
70 – 120	160,8	166,6	158,6

По рассмотренным диагнозам 1 и 2 момент изменения тренда t_* в ломаной $g(t)$ приходится на осень 2010 года.

2. Диагноз: острая сердечно-сосудистая недостаточность

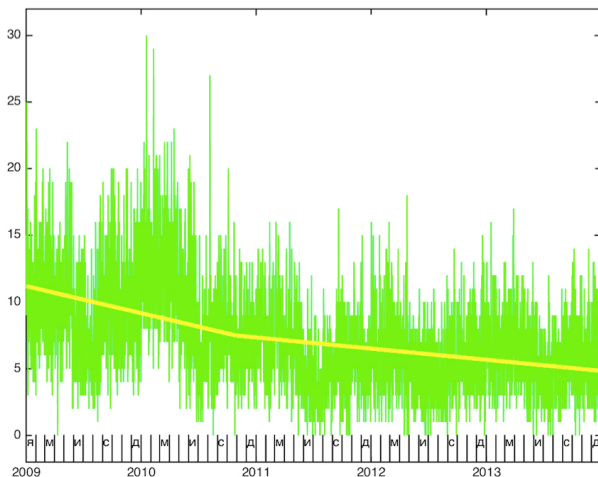


Рис. 4. Динамика количества вызовов для всех возрастов обоих полов по диагнозу «острая сердечно-сосудистая недостаточность». $K = 166,3^\circ$, $t_* = 27$ октября 2010 г.

Таблица 2

Значения параметра K (в градусах) для всех возрастов и для возрастной группы, старше 70 лет. *Жирным шрифтом выделена группа, для которой тенденция меняется максимально*

Возраст (годы)	оба пола	мужской	женский
0 – 120	166,3	170,5	168,8
70 – 120	169,3	173,6	169,9

3. Диагноз: невротические расстройства

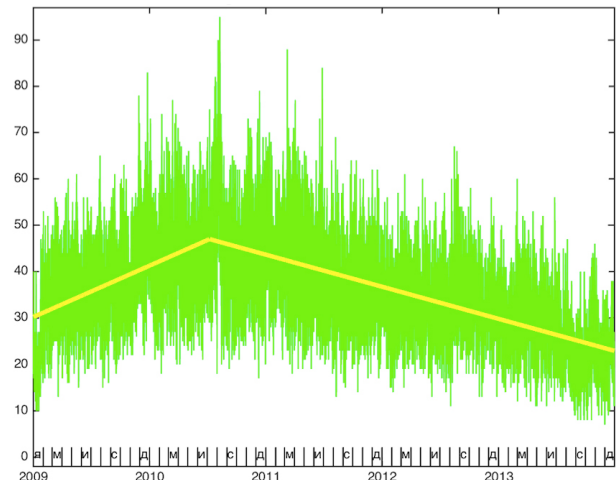


Рис. 5. Изменение тренда количества вызовов для обоих полов по диагнозу «невротические расстройства». Рассматриваются все возрасты. $K = 126,3^\circ$, $t_* = 8$ июля 2010 г.

Таблица 3

Значения параметра K (в градусах) агрегировано для всех возрастов и отдельно для возрастных групп от 15 до 35 лет, от 35 до 55 лет, от 55 до 70 лет и старших 70 лет.

Жирным шрифтом выделена группа, для которой тенденция меняется максимально

Возраст (годы)	оба пола	мужской	женский
0 – 120	126,3	138,8	129,9
15 – 35	126,5	146,0	131,4
35 – 55	141,1	150,7	139,7
55 – 70	153,5	-	152,6

По диагнозу 3 изменение тренда произошло непосредственно во время периода жары. Заметим, что угол изгиба для пациентов женского пола в этом случае меньше, чем для мужского. Вывод: жара сильнее повлияла на женщин с диагнозом «невротические расстройства», чем на мужчин.

Для подтверждения последнего утверждения приведем графики (рис. 6 и 7) изменения тренда отдельно для мужчин и для женщин.

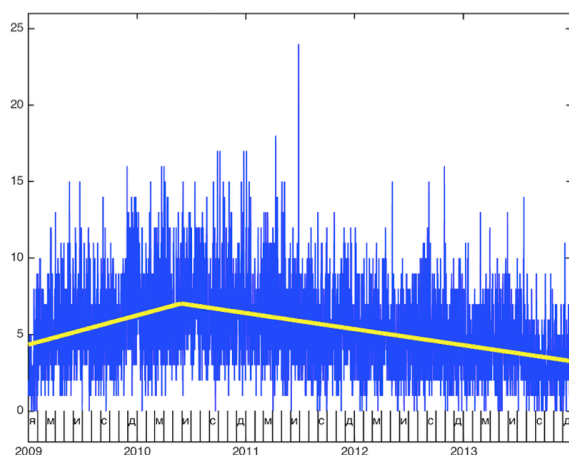


Рис. 6. Динамика количества выездов для мужчин 15–35 лет с диагнозом «невротические расстройства». $K = 146,0^\circ$, $t_* = 28$ мая 2010 г.

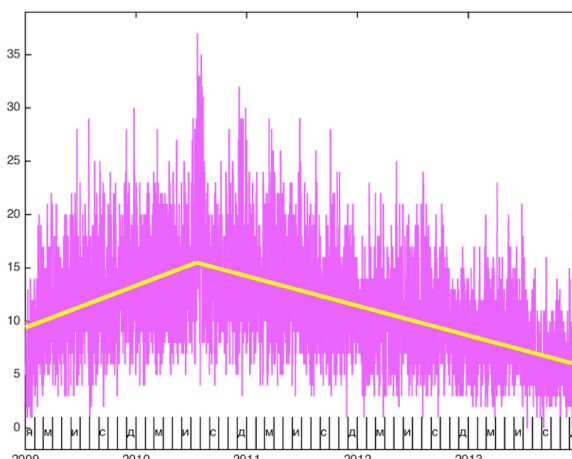


Рис. 7. Динамика количества выездов для женщин в возрасте 15–35 лет с диагнозом «невротические расстройства». $K = 131,4^\circ$, $t_* = 19$ июля 2010 г.

Проверка устойчивости вычислительного метода по отношению к шуму в данных

Для рассмотренных диагнозов 1-3 оценки дисперсии $D_0 = \sigma_0^2$ величины $\{f(t_j)\}_{j=1}^N$ по агрегированным (и по полу, и по возрасту) выборкам равны 12,25; 15,84 и 184,42, соответственно. Добавим к данным по каждому из упомянутых диагнозов 1-3 белый шум $\{\xi_j\}_{j=1}^N$ (см., например, [2]) с нулевым средним и амплитудой σ . Если в сигнале $\{f(t_j) + \xi_j\}_{j=1}^N$, получающемся после добавления шума, окажутся отрицательные числа, заме-

ним их нулями. В этих экспериментах данные по каждому диагнозу были агрегированы по полу и возрасту.

Для зашумленных таким способом реальных данных, определяем заново с помощью описанного выше алгоритма аппроксимации значения точек излома t_{**} . В каждом из рассмотренных выше случаев проведем эксперимент добавления случайного белого шума 150 раз. При каждом значении амплитуды шума σ вычислим среднее (S) и среднее абсолютное (W) разности между t_{**} и t_* по каждому из трех диагнозов. Результаты численных экспериментов приведены в табл. 4.

Таблица 4

*Среднее и среднее абсолютное количество дней, на которое смещается момент излома t_{**} , если к исходным данным о выездах по соответствующему диагнозу добавить белый шум с амплитудой σ*

№ диагноза и σ_0		Дисперсия		$\sigma^2=0,5$		$\sigma^2=1$		$\sigma^2=2$		$\sigma^2=5$		$\sigma^2=10$		$\sigma^2=20$	
		S	W	S	W	S	W	S	W	S	W	S	W	S	W
1	3,50	-28	32	-34	39	-96	96	-114	114	-119	119	-134	134		
2	3,98	-31	32	-35	40	-92	92	-118	118	-131	131	-148	148		
3	13,58	-4	15	-3	15	-2	1	-2	3	4	9	4	14		

При этих экспериментах также оценивалось изменение угла K излома (в градусах) кривой g . Соответствующие осредненные оценки приведены в табл. 5.

Таблица 5

Среднее (M) и среднее абсолютное (A) изменения (в градусах) угла K , если к исходным данным о выездах по соответствующему диагнозу добавить белый шум с амплитудой σ

№ диагноза и σ_0		Дисперсия		$\sigma^2=0,5$		$\sigma^2=1$		$\sigma^2=2$		$\sigma^2=5$		$\sigma^2=10$		$\sigma^2=20$	
		M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A
1	3,50	-0,25	0,55	-0,20	0,86	0,06	0,91	0,34	1,78	1,42	2,46	3,51	3,68		
2	3,98	1,04	1,08	1,51	1,55	1,76	1,85	2,51	2,55	2,92	3,06	3,59	3,68		
3	13,58	-0,07	0,96	0,32	1,20	0,65	1,37	1,13	2,21	3,01	3,74	4,34	4,58		

Во всех рассмотренных случаях добавление шума с малой амплитудой слабо влияет и на оценку момента излома тренда, и на угол излома. С ростом амплитуды шума, естественно, увеличивается и среднее, и среднее абсолютное смещение. Такая «правильная» реакция на добавление шума подтверждает надежность полученных результатов.

Заметим, что сопоставление средних и средних абсолютных смещений показывает, что для первых двух диагнозов смещение происходит почти всегда в одну сторону, а для третьего диагноза (невротические расстройства) при достаточно малых амплитудах смещение существенно меньше среднего абсолютного. Это объясняется существенно большим абсолютным количеством вызовов (и большей дисперсией) именно для третьего диагноза. Если соотнести D - квадрат амплитуды шума $\{\xi_j\}_{j=1}^N$ к дисперсии σ_0^2 основного сигнала $\{f(t_j)\}_{j=1}^N$, то эффект от шума во всех трех случаях примерно одинаков.

Заключение

Перечислены диагнозы, для которых в летнюю жару 2010 г. в Москве произошла существенная смена тренда в суточном количестве выездов службы «Скорой помощи». Построен метод нахождения момента изменения тренда, который устойчив к небольшим изменениям исходной статистики. Оказалось, что момент излома графика (смены тренда) довольно точно (диагнозы 1 и 2 — в конце октября, диагноз 3 — непосредственно во время жары) соответствует периоду аномальной жары 2010 года.

Литература

Изменение качества атмосферного воздуха в Москве в 2006-2012 гг. и риски для здоровья населения / Б.А. Ревич, Д.А. Шапошников, С.Л. Авалиани, Е.А. Лезина, Е.Г. Семутникова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. — 2015. — Т. XXVI. — № 1. — С. 91-122.

Розанов Ю.А. Теория вероятностей, случайные процессы и математическая статистика. — М., Наука, 1985. — 320 с.

Bykov F.L. Forecasting Moscow Ambulance Trips/ F.L. Bykov, V.A. Gordin // 2015, preprint HSE №36/STI/2015.

Статья подготовлена в ходе проведения исследования (16-05-0069) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2016-2017 гг. и с использованием средств субсидии на государственную поддержку ведущих университетов Российской Федерации в целях повышения их конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров, выделенной НИУ ВШЭ.

Авторы благодарны службе г. Москвы «Скорая помощь» им. А.С. Пучкова за предоставленную базу данных и Ф.Л. Быкову и А.В. Сигачеву за полезные обсуждения.

Сведения об авторах

Гордин Владимир Александрович — доктор физико-математических наук, профессор НИУ ВШЭ, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Гидрометцентр России», г. Москва. Тел. 8(916)931-70-13. E-mail: vagordin@mail.ru

Сахарова Екатерина Алексеевна — студентка факультета компьютерных наук отделения прикладной математики и информатики НИУ ВШЭ, младший техник ФГБУ «Гидрометцентр России», г. Москва. Тел. 8(916) 823- 02- 83. E-mail: sakharova.hse@gmail.com

Материал поступил в редакцию 26.02.2016

Гордин В.А., Сахарова Е.А. Долговременное влияние летней жары 2010 г. в Москве на здоровье населения // Профилактическая и клиническая медицина. — 2016. — № 2(). — С.

UDK 551.586, 502.313, 614.2

© V.A. Gordin, E.A. Sakharova, 2016

A LONG-TERM EFFECT OF SUMMER HEAT ON THE POPULATION HEALTH IN 2010 IN MOSCOW

V.A. Gordin^{1,2}, E.A. Sakharova^{1,2}

¹ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “National Research University” Higher School of Economics” (HSE), 101000, Moscow, Myasnitskaya St., 20

² Federal State Budget Institution “Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation” (FGBI “Hydrometeorological Centre of Russia”), 123242, Russia, Moscow, Large Predtechensky lane, 11-13

Abstract

Introduction. The heat in July-August of 2010 in Moscow with an escort of noticeable air pollution (including smoke from peat fires) greatly affected the lives and health of the metropolis' residents. It can be confirmed by mortality data

and by information about daily Ambulance trips. In this period a strong peak was observed as for General graphs based on time and individual groups of diagnoses. In addition, the trend of the number of daily trips (as a function of time) changed significantly. The estimates of the moments of change in the trends were stable to the noise in the original data. These moments are close in time to the 2010 Moscow heat.

Purpose. Using the data of Moscow Ambulance trips' statistics for 5 years, we identified the diagnoses which have a substantial change in the total number of Ambulance trips.

Materials and methods. We used the archive of non-personally identifiable data of Moscow ambulance trips. We considered the period from 1st January 2009 to 31st December 2013, i. e. 1826 days. The data can be divided into semidiurnal shifts. The total number of diagnoses is equal to 368. All calculations were realized in MATLAB.

Results. We found several diagnoses with significant change in the daily number of Ambulance trips.

Conclusion. In addition to the dramatic increase in the number of Ambulance trips, as for other diagnoses during the summer heat in 2010, in Moscow, there has been a significant trend change in the daily number of Ambulance trips. Was found a method to find the moment of trend change that is tested for resistance to small changes in the source statistics. It turned out that the moments of fracture of the chart (trend change) quite accurately coincide with the period of abnormal heat of 2010.

Key words: heat wave, effects of heat, trend, the least squares method, white noise.

References

1. *Izmenenie kachestva atmosfernogo vozduha v Moskve v 2006-2012gg. i riski dlja zdorov'ja naselenija* / B.A. Revich, D.A. Shaposhnikov, S.L. Avaliani, E.A. Lezina, E.G. Semutnikova // *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem.* — 2015. — T. XXVI. — № 1. — S. 91-122.
2. *Rozanov Ju.A. Teoriya veroyatnostej, sluchajnye processy i matematicheskaja statistika.* — M., Nauka, 1985. — 320 s.
3. *Bykov F.L. Forecasting Moscow Ambulance Trips* / F.L. Bykov, V.A Gordin // 2015, preprint HSE №36/STI/2015.

Information about authors

Gordin Vladimir Alexandrovich — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Higher School of Economics, leading researcher FGBI "Hydrometeorological Centre of Russia", Moscow. Phone 8(916)931-70-13. E-mail: vagordin@mail.ru

Sakharova Ekaterina Alekseevna — student of the Faculty of Computer Science, Department of Applied Mathematics and Informatics Science, Higher School of Economics, junior technician of FGBI "Hydrometeorological Centre of Russia", Moscow. Phone 8(916)823-02-83. E-mail: sakharova.hse@gmail.com

Accepted 26.02.2016

Gordin V.A., Sakharova E.A. A long-term effect of summer heat on the population health in 2010 in Moscow // Preventive and clinical medicine. — 2016. — № 2(). — C. (in Russian)