

Системный анализ значимости факторов, влияющих на эпидемиологическую ситуацию по туберкулезу в России

В.Н. Крутько, Т.М. Смирнова

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук, г. Москва, Россия

Аннотация. Системный анализ взаимосвязей между показателями эпидемической ситуации по туберкулезу (ЭСТ) и экономическими, демографическими и климатическими факторами, показал, что эффективность управления этой ситуацией зависит от всей совокупности факторов, что необходимо учитывать при разработке оптимальных стратегий управления как в Российской Федерации, так и в других странах, характеризующихся значительной неоднородностью региональных характеристик. При значительных различиях между регионами стратегии управления должны базироваться в первую очередь на конкретных значениях динамики исследуемых факторов внутри каждого региона, а не на обобщенных показателях страны в целом. Наряду с экономическими показателями, важными детерминантами ЭСТ в субъектах РФ являются температурный режим и плотность населения. Общий экономический уровень, определяющий качество жизни в субъектах РФ, сильнее влияет на ЭСТ, чем целенаправленное финансирование противотуберкулезных мероприятий.

Ключевые слова: *Российская Федерация, регионы, туберкулез, системный анализ, заболеваемость, смертность, финансирование противотуберкулезных мероприятий, валовый региональный продукт, душевой доход, плотность населения, температурный режим.*

DOI: 10.14357/20790279250207 **EDN:** WVUZOS

Введение

В настоящее время в мире нет ясного понимания эффективности экономических мер для снижения уровня заболеваемости туберкулезом и смертности от него, поскольку данная эффективность может существенно зависеть не только от уровня финансового обеспечения, но и от других значимых факторов – организационно-управленческих, экологических, демографических, инфраструктурных и др. Необходим системный анализ значимости данных факторов. Эпидемиологическая ситуация по туберкулезу (ЭСТ) и детерминирующие ее факторы в России характеризуются существенной неоднородностью в пространстве и времени [1]. Так, например, один из самых неблагополучных по туберкулезу субъектов Российской Федерации (РФ) – Чукотский АО – по объему подушевого финансирования противотуберкулезных мероприятий (ПФПТМ) уступает только Ненецкому АО. В то же время, Республика Дагестан, имеющая самый низкий уровень ПФПТМ среди 85 субъектов

РФ, по заболеваемости активным туберкулезом (З) занимает 72-е место, а по смертности (С) от туберкулеза – 76-е. Поэтому для эффективного управления эпидемиологической ситуацией необходимо провести комплексный анализ по возможности наиболее полной совокупности факторов, значимо влияющих на риски З и С и результативность противотуберкулезных мероприятий в различных регионах страны.

Туберкулез (ТБ) считается болезнью бедняков. От уровня материального благополучия как на индивидуальном, так и на популяционном уровне зависят своевременность диагностики ТБ и оказание помощи больным. Этот эффект показан для стран Европейского региона ВОЗ [2], стран Ближнего Востока и Северной Африки [3], стран Африки южнее Сахары [4], Бразилии [5], Китая [6]. Регионы России крайне неоднородны и по уровню экономического развития, что неизбежно сказывается на ПФПТМ, поскольку противотуберкулезная работа финансируется из бюджетов субъектов РФ.

Важными детерминантами риска З и С являются погодноклиматические условия. Сезонные вариации температуры и влажности воздуха, силы ветра и интенсивности солнечного света могут порождать, с соответствующими временными задержками, значительные изменения З [7]. Влияние климата на эпидемическую ситуацию по ТБ неоднозначно. С одной стороны, холодный климат заставляет группы людей проводить много времени в замкнутых пространствах, увеличивая, таким образом, вероятность контакта с туберкулезной палочкой, если в группе есть больной туберкулезом [8]. С другой стороны, для регионов с суровым климатом характерна низкая плотность населения (ПН). Вероятность контакта с больным ТБ увеличивается пропорционально плотности населения [8]. В то же время, низкая ПН затрудняет и удорожает медицинское обеспечение, в частности, увеличению расходов способствует недостаточная транспортная доступность лечебных учреждений [9].

Климат России достаточно разнообразен. Значительная часть наиболее неблагоприятных по ТБ федеральных округов - Сибирского и Дальневосточного - расположена в зоне резко континентального, субарктического и арктического климата.

Средняя ПН по России составляет 8,57 чел./км² [10]. Среди развитых стран меньшую ПН, чем Россия, имеют только Канада, Австралия и Исландия [11]. Распределение населения по территории России крайне неравномерно. ПН в субъектах РФ варьирует от 0,07 чел./км² в Чукотском АО (что вдвое меньше, чем в Гренландии [11]) до 4831 чел./км² в городе федерального значения Москве.

1. Цель исследования

Целью настоящего исследования являлся анализ динамики показателей эпидемиологической ситуации по туберкулезу (ЭСТ) (заболеваемости туберкулезом (З) и смертности от него (С) в субъектах РФ) - оценка значимости взаимосвязей этой динамики с экономическими показателями: подушевое финансирование противотуберкулезных мероприятий (ПФПТМ); валовый региональный продукт на душу населения (ВРПД); душевой доход (ДД), - а также с плотностью населения (ПН) и с температурным режимом (Т).

2. Материалы и методы

В работе проведена оценка значимости взаимосвязей между показателями ЭСТ (З и С) и факторами, определяющими величины этих показателей, - ПФПТМ, ВРПД, ДД, ПН, Т. Для анализа были ис-

пользованы официальные данные Федеральной службы государственной статистики (Росстат) и Федерального центра мониторинга противодействия распространению туберкулеза в Российской Федерации [10, 12 - 17]. Анализ данных проводили с использованием методов корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализа (analysis of variance). Статистические расчеты выполнены с помощью пакета Statistica, версия 6.

3. Результаты

Начиная с 2017 г., уровень С был ниже, чем в 1986-1991 гг. - наилучшем для России периоде XX века по этому показателю (рис. 1). Уровень З до сих пор выше исторического минимума - уровня 1990 г. При этом различия между субъектами РФ по З и С были огромны (табл. 1). «Лихие 90-е» привели к резкому подъему З и С. Устойчивое снижение началось лишь с 2000 г. по З и с 2005 г. по С.

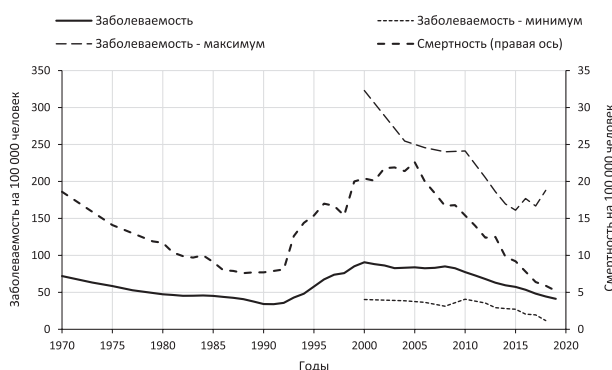


Рис. 1. Динамика заболеваемости активным туберкулезом (среднее по РФ, минимальные и максимальные значения по субъектам РФ) и смертности от туберкулеза (среднее по РФ)

В табл. 1 представлены характеристики различий между субъектами РФ по всем исследованным показателям: отношения максимального среди субъектов значения каждого показателя к минимальному для каждого года, а также оценки различий между субъектами, полученные с помощью дисперсионного анализа (analysis of variance). Каждому региону был присвоен индекс, а затем были выполнены вычисления по схеме однофакторного дисперсионного анализа для фактора «индекс региона». Статистика Фишера F, значения которой приведены в табл. 1, - это отношение факторной дисперсии (factor variance), характеризующей различия между регионами (различия между средними региональными значениями фактора), к остаточной дисперсии (residual variance), характеризующей разброс значений фактора по годам вну-

Табл. 1

Кратность различий между субъектами РФ (отношение максимального значения показателя к минимальному) и оценки влияния фактора «индекс региона»

Показатель	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	F	p
З	6.4	6.0	5.9	8.6	8.6	15.9	42.72	$<10^{-6}$
С	31.3	31.2	Не опр.	Не опр.	45.6	Не опр.	13.09	$<10^{-6}$
ПФПТМ	37.9	26.0	22.2	22.2	26.1	13.8	72.95	$<10^{-6}$
ВРПД	44.0	55.5	48.7	53.0	54.8	—	94.25	$<10^{-6}$
ДД	5.7	5.2	4.7	4.8	5.1	5.1	56.38	$<10^{-6}$
ПН	65962	66718	67593	68586	69640	70410	18631	$<10^{-6}$

Примечания: — — нет данных; Не опр. — отношение невозможно определить, т.к. минимальное значение равно 0

три региона (отклонения ежегодных значений фактора от регионального среднего). Почти для всех показателей факторная дисперсия оказалась на порядок больше остаточной, а для ПН — на 4 порядка. Очень низкие уровни значимости p свидетельствуют о крайне высоких различиях между регионами.

Для показателя T расчет соотношения максимального и минимального уровней не имеет смысла, т.к. эти значения имеют разный знак: в наиболее теплых регионах России средняя температура января положительна, а в остальных — отрицательна. Уровень значимости различий между регионами по этому показателю имеет тот же порядок, что и для экономических показателей ($F=41.56$, $p<10^{-6}$).

Снижение $З$ в 2013-2018 гг. имело место в 84 из 85 субъектов РФ — как при исходно высоком, так и при исходно низком уровне $З$. В 75 регионах линейный тренд $З$ был значим с $p<0.05$. Единственный субъект РФ, где наблюдался значимый рост $З$ ($r=0.835$, $p=0.019$) — Чукотский АО (рис. 2).

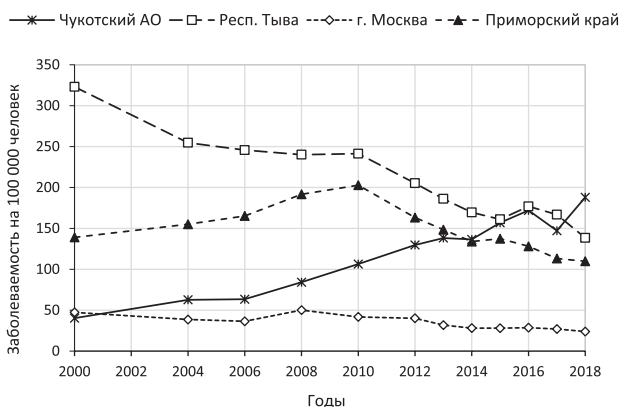


Рис. 2. Динамика заболеваемости туберкулезом в отдельных субъектах РФ

На рис. 2 представлена динамика $З$ в трех регионах, имевших в 2018 г. наихудшие показатели среди субъектов РФ, а также в Москве — одном из наиболее благополучных регионов (в 2013-2018 гг. 84-е место по $З$ и 81-е по $С$). Как видно на этом

рисунке, в этих регионах к началу исследуемого периода были неодинаковы и уровни $З$, и сложившиеся тенденции ее изменения. В период после 2012 г. $З$ снижалась высокими темпами в Приморском крае и Республике Тыва. В Москве снижение $З$ было в 4 раза более медленным, чем в этих регионах, но также статистически значимым. Чукотский АО — единственный регион России, где имел место устойчивый рост $З$. Зачем

Тенденция к снижению $С$ в 2013-2018 гг. имела место в 81 субъекте РФ, из них в 71 — с $p<0.05$. Тенденции к росту $С$ не наблюдалось ни в одном из регионов. В Республике Тыва имел место скачкообразный рост $С$ (с 6.3/100000 чел. в 2016 г. до 45.6/100000 чел. в 2017 г.; снижение в 2018 г. было незначительным), из-за чего для этого региона оказался близким к достоверному тренд в сторону повышения ($p=0.07$). Примечательно, что рост $С$ там произошел через 2 года после резкого (на 28% по сравнению с предыдущим годом) снижения в 2015 г. ПФПТМ в данном регионе. В 2016 г. в этом регионе повысилась и $З$ (рис.2), но с 2017 г. она начала снижаться параллельно увеличению финансирования. Данный пример говорит о том, что эффекты от проведения тех или иных мероприятий по снижению $З$ и $С$ могут быть отсрочены на несколько лет и это необходимо учитывать при анализе эффективности мероприятий.

Для проверки гипотезы о комплексном влиянии экономических, природно-климатических и демографических факторов на ЭСТ был проведен корреляционный анализ связей $З$ и $С$ с ВРПД, ДД, ПФПТМ, ТР и ПН (таблица 2). Поскольку распределение всех перечисленных показателей значительно отличается от нормального, был использован ранговый коэффициент корреляции Спирмена — R , который в этом случае лучше отражает монотонные связи между переменными, чем коэффициент корреляции Пирсона — r . Вычисления выполнены в двух вариантах. В первом случае были использованы все значения показателей по всем регионам за каждый

Табл. 2

Коэффициенты корреляции между показателями ЭСТ и экономическими, климатическими и демографическими показателями для субъектов РФ

Показатель 1	Показатель 2	Все данные		Региональные средние	
		R	p	R	p
З	ВРПД	0.004	0.935	0.073	0.509
	ДД	-0.186	$5.56 \cdot 10^{-6}$	-0.064	0.563
	ПФПТМ	0.412	$2.79 \cdot 10^{-22}$	0.587	$3.56 \cdot 10^{-9}$
	ПН	-0.452	$5.34 \cdot 10^{-27}$	-0.501	$1.05 \cdot 10^{-6}$
	Т	-0.606	$5.93 \cdot 10^{-26}$	-0.589	$4.62 \cdot 10^{-9}$
С	ВРПД	0.008	0.872	0.057	0.603
	ДД	-0.140	0.002	-0.033	0.764
	ПФПТМ	0.255	$5.42 \cdot 10^{-9}$	0.435	$3.16 \cdot 10^{-5}$
	ПН	-0.315	$3.93 \cdot 10^{-13}$	-0.366	$5.75 \cdot 10^{-4}$
	Т	-0.421	$6.32 \cdot 10^{-12}$	-0.433	$4.43 \cdot 10^{-5}$

год исследования, во втором – региональные средние показателей за период исследования.

В обоих вариантах коэффициенты корреляции показателей ЭСТ с неэкономическими были достоверно отрицательны, что вполне ожидаемо: чем теплее в регионе зима и чем выше плотность населения, тем ниже З и С, – поскольку более высокая плотность населения в России тесно связана с более высоким уровнем жизни. Менее ясны полученные оценки связи З и С с экономическими показателями. Отрицательный коэффициент корреляции З и С с ДД статистически значим только в том случае, если учитываются данные за каждый год. Связь ВРПД с эпидемиологическими показателями оказалась недостоверной. Такой результат отчасти объясним за счет того, что некоторые регионы с высоким ВРПД находятся в зоне сурового климата (в том числе Чукотский АО, который по ВРПД занимает 4-е место среди субъектов РФ и опережает Москву), а регионы Северо-Кавказского и Южного федеральных округов, имеющие низкий ВРПД, относятся к наиболее теплым. Парадоксальной и контринтуитивной представляется положительная корреляция З и С с ПФПТМ, тем более, что, как показано выше на примере Республики Тыва, рост ПФПТМ приводил к снижению З, а уменьшение ПФПТМ – к росту З. Однако, если учесть данные табл. 1, свидетельствующие о крайне высоких различиях между регионами по обоим этим показателям, становится ясно, что в коэффициент корреляции между З, С и ПФПТМ очень большой вклад вносят различия между средними региональными уровнями и значительно меньший – различия этих показателей в каждом отдельном регионе в разные годы.

Рис. 3 показывает, что между региональными средними уровнями ПФПТМ и З действительно имеется прямая корреляция. По-видимому, она объясняется тем, что в каждом регионе расходы на противотуберкулезную деятельность планируются в зависимости от текущего уровня З, т.е. эта корреляция характеризует скорее эффект влияния З на ПФПТМ, а не наоборот. Поэтому для того, чтобы оценить реальную эффективность целевого финансирования, необходимо исследовать корреляционные связи З с ПФПТМ, а также с другими экономическими показателями в каждом регионе отдельно.

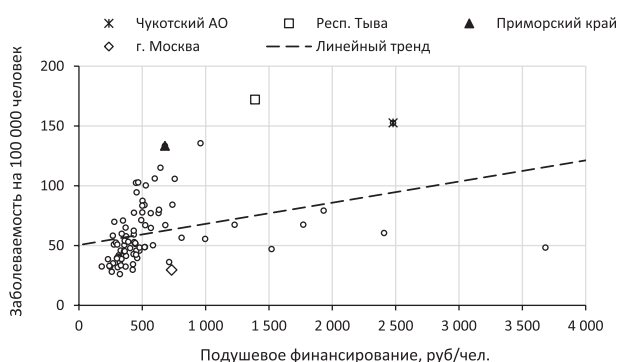


Рис. 3. Средние уровни подушевого финансирования противотуберкулезных мероприятий и заболеваемости туберкулезом в субъектах РФ в 2013-2018 гг

Как видно на рис. 3, разброс данных относительно линии регрессии очень высок. В Приморском крае и Москве уровни ПФПТМ были близки, но уровни З различались в 4.5 раза. Очевидно, что различия эффективности целевого финансирования были связаны с неодинаковым уровнем экономического развития этих субъектов РФ. Москва в 2013-2018 гг. занимала 6-е место среди субъектов

РФ по ВРПД и 4-е – по ДД, Приморский край, соответственно, 29-е и 18-е. К преимуществам Москвы относятся также более теплый климат (часть населенных пунктов Приморского края приравнена к районам Крайнего Севера) и более развитая инфраструктура здравоохранения, в частности, лучшая транспортная доступность. В Чукотском АО уровень ПФПТМ был в 3.4 раза выше, чем в Москве, но З при этом была в среднем в 5.1 раза выше и, в отличие от всех прочих субъектов РФ, имела достоверную тенденцию к росту (см. рис. 2). Очевидно, что для этого региона уровень финансирования был недостаточен для того, чтобы компенсировать эффекты сурового климата, а также сложность и дороговизну транспортного обеспечения (для многих населенных пунктов доступ к лечебным учреждениям возможен только с помощью санитарной авиации).

Характер связи между С и ПФПТМ был аналогичен связи З с ПФПТМ. Поэтому для оценки влияния целевого финансирования на С также необходим анализ для каждого региона отдельно.

Для анализа связей между эпидемиологическими и экономическими показателями была использована модель линейной регрессии:

$$y = a + b \cdot x, \quad (1)$$

где x – независимая переменная (экономический показатель), y – зависимая переменная (З или С), а a и b – постоянные коэффициенты, b – коэффициент чувствительности зависимой переменной к независимой.

Анализ связи З с экономическими показателями отдельно по каждому субъекту РФ позволил

выявить положительное влияние всех этих показателей на снижение заболеваемости. Коэффициент чувствительности З к ПФПТМ для 26 регионов был достоверен и отрицателен. Отрицательный коэффициент чувствительности отражает снижение З с ростом финансирования, т.е. целевой эффект ПФПТМ. Ни одного случая значимой положительной корреляции между ПФПТМ и З на уровне регионов не выявлено. В таблице 3 приведены значения коэффициентов чувствительности З к изменениям ПФПТМ (10 субъектов с наибольшей чувствительностью), а также коэффициенты чувствительности З к ВРПД и ДД. Для этих показателей достоверная корреляция с З имела место чаще, чем для ПФПТМ. Для ВРПД отрицательная корреляция с З была значима с $p < 0.05$ для 64 регионов, ни одного случая значимой положительной корреляции не выявлено. Для ДД достоверная отрицательная корреляция с З отмечена для 69 регионов, а единственный случай достоверной положительной корреляции относится к Чукотскому АО. ДД в 2013-2018 гг. в этом регионе рос достоверно и почти линейно ($r=0.996$), но и З – тоже ($r=0.974$), поэтому корреляция между этими показателями была достоверна и положительна. Отрицательным коэффициент корреляции между ДД и З был в тех регионах, где рост ДД обеспечивал снижение заболеваемости. Но в Чукотском АО уровень ДД, несмотря на постоянное его повышение (отчасти съеданное ростом цен), явно был недостаточен для компенсации всех неблагоприятных факторов – не только природно-климатических (один из самых холодных регионов с одной из самых длинных зим – 10 мес., самая высокая скорость ветра, ми-

Табл. 3

Коэффициенты чувствительности заболеваемости активным туберкулезом к изменениям экономических характеристик субъектов РФ. Субъекты ранжированы по убыванию чувствительности к ПФПТМ

Рейтинг	Субъект РФ	Коэффициенты чувствительности З к экономическим показателям:		
		ПФПТМ	ВРПД	ДД
1	Приморский край	-0.232*	-0.324**	-3.704**
2	Костромская обл.	-0.200	-0.231*	-1.959*
3	Самарская обл.	-0.194*	-0.157	-7.484
4	Саратовская обл.	-0.182	-0.243**	-3.153**
5	Чувашская Респ.	-0.172*	-0.423***	-4.318**
6	Респ. Адыгея	-0.171	-0.366***	-2.916***
7	Респ. Бурятия	-0.161**	-1.025*	-6.856*
8	Брянская обл.	-0.160*	-0.316***	-3.652***
9	Ставропольский край	-0.152	-0.237***	-3.701***
10	Астраханская обл.	-0.141	-0.064	-2.547

Примечание: * - $p < 0.05$; ** - $p < 0.05$; *** - $p < 0.001$.

Табл. 4

Коэффициенты чувствительности смертности от туберкулеза к изменениям экономических характеристик субъектов РФ. Субъекты ранжированы по убыванию чувствительности к ПФПТМ

Рейтинг	Субъект РФ	Коэффициенты чувствительности С к экономическим показателям:		
		ПФПТМ	ВРПД	ДД
1	Респ. Хакасия	-0,111	-0,340	-11,260*
2	Томская обл.	-0,079	-0,161	-3,471
3	Еврейская авт. обл.	-0,061	-0,163*	-3,451
4	Ростовская обл.	-0,055*	-0,056*	-0,976**
5	Саратовская обл.	-0,055	-0,091**	-1,194**
6	Красноярский край	-0,054	-0,042	-2,006*
7	Нижегородская обл.	-0,053*	-0,071**	-1,093**
8	Астраханская обл.	-0,049	-0,067*	-2,016
9	Самарская обл.	-0,043*	-0,078**	-3,179
10	Ставропольский край	-0,039*	-0,049***	-0,887**

Примечание: * - $p < 0.05$; ** - $p < 0.05$; *** - $p < 0.001$.

нимум часов солнечного освещения, самая низкая плотность населения и плотность автомобильных дорог с твердым покрытием), но и низкого качества жизни населения (по ОПЖ до 2017 г. включительно Чукотский АО устойчиво занимал предпоследнее место в России, а в 2018 г. сместил Туву с традиционно последнего места).

Большее число достоверных отрицательных корреляций 3 с ДД и ВРПД, по сравнению с ПФПТМ, означает, что связь 3 с общими показателями экономического благополучия более весома, чем с целевым финансированием противотуберкулезных мероприятий.

Сходные результаты были получены и при анализе чувствительности С к экономическим показателям. Все коэффициенты чувствительности, значимые с $p < 0.05$, были отрицательны (19 для ПФПТМ, 49 для ВРПД и 54 для ДД), ни одного значимого положительного коэффициента не выявлено. Как и в случае 3, связь С с ДД и ВРПД оказалось более тесной, чем с ПФПТМ.

Для проверки гипотезы о зависимости ПФПТМ от уровня 3 и экономического развития региона была использована модель множественной линейной регрессии:

$$\text{ПФПТМ} = a + b_1 \cdot 3 + b_2 \cdot \text{ВРПД} + b_3 \cdot \text{ДД}, \quad (2)$$

где a , b_1 , b_2 , b_3 – постоянные коэффициенты (b_1 , b_2 , b_3 – коэффициенты чувствительности).

Переменные, включенные в формулу (2), имеют размерность:

ПФПТМ – руб./чел,
3 – на 100 000 чел.,

ВРПД – тыс. руб./чел.,
ДД – тыс. руб./чел. в месяц.

Получены следующие оценки параметров модели:

$$\begin{aligned} a &= -537.77, p = 3.35 \cdot 10^{-17}; \\ b_1 &= 6.56, p = 5.87 \cdot 10^{-30}; \\ b_2 &= 0.31, p = 2.50 \cdot 10^{-15}; \\ b_3 &= 21.40, p = 2.42 \cdot 10^{-18}. \end{aligned}$$

Все коэффициенты чувствительности положительны и достоверно отличны от 0. Точность линейной аппроксимации (коэффициент детерминации²) составил 0.681. Это означает, что 68,1% вариации ПФПТМ в регионах за исследуемый период времени можно связать с уровнями 3, ВРПД и ДД. Это означает, что уровень финансирования противотуберкулезных мероприятий в регионах зависит как от текущего уровня заболеваемости, так и от экономических возможностей региона.

4. Обсуждение

Проведенный системный анализ показал, что между субъектами РФ имеются очень большие различия как по ЭСТ и тенденциям ее развития, так и по экономическим, климатическим и демографическим характеристикам регионов, которые могут детерминировать эту ситуацию. Вследствие этих различий оценить эффективность целевого финансирования противотуберкулезных мероприятий можно только для каждого региона отдельно с учетом всех прочих характерных для него детерминант заболеваемости и смертности.

Выявленная отрицательная корреляция эпидемиологических показателей с ПН и Т представляется вполне закономерной. Чем ниже плотность населения (а это тесно коррелирует с уровнем жизни) и чем холоднее зима в регионе, тем выше З и С от туберкулеза.

В силу крайне высоких различий между регионами по всем детерминантам ЭСТ для корректного выявления влияния ПФПТМ на З и С необходим анализ связей между этими показателями отдельно для каждого конкретного региона.

Меньшее количество достоверных отрицательных корреляционных связей С и З с ПФПТМ, по сравнению с ВРПД и ДД, может быть свидетельством того, что общий экономический уровень, определяющий качество жизни в регионах, сильнее и/или быстрее влияет на ЭСТ, чем целенаправленное финансирование противотуберкулезных мероприятий. ДД можно рассматривать как индикатор качества жизни на индивидуальном уровне, а ВРПД – на популяционном. Хорошо известно, что индивидуальный уровень дохода и определяемые им качество питания, бытовые условия и уровень доступности платных медицинских и оздоровительных услуг влияют на индивидуальное здоровье. В то же время наличие лечебно-профилактических учреждений, их оснащение, обеспеченность квалифицированными кадрами и транспортная доступность в большей степени зависят от уровня экономического развития региона в целом, т.е. ВРПД. Необходимо также учитывать, что реакция индивидуального и популяционного здоровья на изменения ДД и ВРПД может быть очень быстрой, без задержки во времени. Поэтому характер связи между таким возмущающим воздействием и переменными отклика, т.е. показателями здоровья, может быть очень близким к линейному. В то же время, эффект противотуберкулезных мероприятий может проявляться со значительной задержкой, причем неодинаковой для разных видов мероприятий, что обуславливает нелинейный характер переменной отклика.

Использованные в данном исследовании модели линейной регрессии, безусловно, являются крайне упрощенными. Для построения более точных моделей, пригодных для оценки эффективности противотуберкулезных мероприятий, необходимы данные, позволяющие оценить как затраты, так и отклик на различные противотуберкулезные мероприятия. Более детальным должно быть и описание природно-климатических факторов. Например, действующий в России нормативный документ по строительной климатологии [18] включает широкий перечень климатических па-

раметров, которые необходимо учитывать при проектировании строительства и эксплуатации зданий, как жилых, так и ЛПУ. Этот перечень включает, отдельно для теплого и для холодного периода года: температуру воздуха; ее среднюю и максимальную амплитуду (по месяцам); скорость ветра; барометрическое давление; количество осадков. Очевидно, что значения этих параметров влияют на величину базового финансирования в регионах, обеспечивающего эпидемиологическое благополучие.

Для анализа нелинейных связей эпидемиологических показателей с экономическими и неэкономическими детерминантами ЭСТ необходимы значительно более длинные ряды данных, чем использованные в данном исследовании.

Ожидаемый результат проведенного исследования – повышение эффективности процессов управления ЭСТ. Найденные в работе закономерности и взаимосвязи должны учитываться при планировании мероприятий по управлению ЭСТ как в РФ, так и в других странах мира, особенно в тех, в которых имеются значительные различия в экологических, экономических и демографических характеристиках разных регионов.

Заключение

Системный анализ взаимосвязей между показателями ЭСТ и экономическими, демографическими и климатическими факторами, показал, что эффективность управления этой ситуацией зависит от всей совокупности факторов, что необходимо учитывать при разработке оптимальных стратегий управления как в Российской Федерации, так и в других странах, характеризующихся значительной неоднородностью региональных характеристик.

При значительных различиях между регионами стратегии управления должны базироваться в первую очередь на конкретных значениях динамики исследуемых факторов внутри каждого региона, а не на обобщенных показателях страны в целом.

Для Российской Федерации в целом и для большинства ее субъектов в последние годы было характерно улучшение эпидемиологической ситуации по туберкулезу. В настоящее время компенсировано резкое повышение заболеваемости и смертности, имевшее место в 90-е годы прошлого века.

Между субъектами Российской Федерации имеются очень большие различия как по заболеваемости и смертности от туберкулеза, так и по экономическим, климатическим и демографическим показателям, которые могут влиять на эпидемиологические показатели.

Наряду с экономическими показателями, важными детерминантами ЭСТ в субъектах РФ являются температурный режим и плотность населения.

Подушевое финансирование противотуберкулезных мероприятий в субъектах РФ зависит от уровня заболеваемости туберкулезом и экономического состояния регионов.

Общий экономический уровень, определяющий качество жизни в субъектах РФ, сильнее влияет на ЭСТ, чем целенаправленное финансирование противотуберкулезных мероприятий.

Эффекты от проведения тех или иных мероприятий по снижению З и С могут быть отсрочены на несколько лет и это необходимо учитывать при анализе эффективности мероприятий.

Между показателями ЭСТ и финансированием существуют как прямые, так и обратные взаимосвязи – не только З и С зависят от уровня финансирования, но и уровень финансирования зависит от З и С.

Список обозначений

АО – автономный округ

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения

ВРПД – валовый региональный продукт на душу населения

ДД – душевой доход

З – заболеваемость

ЛПУ – лечебно-профилактическое учреждение

ПН – плотность населения

ПФПТМ – подушевое финансирование противотуберкулезных мероприятий

РФ – Российская Федерация

С – смертность

Т – температура воздуха

ТБ – туберкулез

ЭСТ – эпидемическая ситуация по туберкулезу

Литература

1. Peter K. Yablonskii, Alexandr A. Vizel, Vladimir B. Galkin, Marina V. Shulgina. Tuberculosis in Russia. Its History and Its Status Today. *Am J Respir Crit Care Med*. 2015 Feb 15;191(4):372-6.
2. George B. Ploubidis, Melissa J. Palmer, Charlotte Blackmore, Tek-Ang Lim, Davide Manissero, Andreas Sandgren, Jan C. Semenza. Social Determinants of Tuberculosis in Europe: A Prospective Ecological Study. *Eur Respir J*. 2012 Oct;40(4):925-30.
3. Eltayeb D., Pietersen E., Engel M., Abdullahi L. Factors associated with tuberculosis diagnosis and treatment delays in Middle East and North Africa: a systematic review. *East Mediterr Health J*. 2020 Apr 16;26(4):477-486.
4. Fentabil Getnet, Meaza Demissie, Nega Assefa, Bizatu Mengistie, Alemayehu Worku. Delay in Diagnosis of Pulmonary Tuberculosis in Low-And Middle-Income Settings: Systematic Review and Meta-Analysis. *BMC Pulm Med*. 2017 Dec 13;17(1):202.
5. Daniel Barros de Castro, Elvira Maria Godinho de Seixas Maciel, Megumi Sadahiro, Rosemary Costa Pinto, Bernardino Cláudio de Albuquerque, José Uelers Braga. Tuberculosis Incidence Inequalities and Its Social Determinants in Manaus from 2007 to 2016. *Int J Equity Health*. 2018 Dec 29;17(1):187.
6. Qi Wang, Liang Guo, Jing Wang, Leijie Zhang, Wanqi Zhu, Yan Yuan, Juansheng Li. Spatial Distribution of Tuberculosis and Its Socioeconomic Influencing Factors in Mainland China 2013-2016. *Trop Med Int Health*. 2019 Sep;24(9):1104-1113.
7. Yuanyuan Xiao, Limei He, Ying Chen, Qinying Wang, Qiong Meng, Wei Chang, Lifeng Xiong, Zhen Yu. The Influence of Meteorological Factors on Tuberculosis Incidence in Southwest China From 2006 to 2015. *Sci Rep*. 2018 Jul 3;8(1):10053.
8. Hans L. Rieder. *Epidemiologic Basis of Tuberculosis Control*. First edition 1999. International Union against Tuberculosis and Lung Disease 68, boulevard Saint-Michel, 75006 Paris.
9. Stracker N., Hanrahan C., Mmolawa L., Nonyane B., Tampi R., Tucker A., West N., Lebina L., Martinson N., Dowdy D. Risk Factors for Catastrophic Costs Associated With Tuberculosis in Rural South Africa. *Int J Tuberc Lung Dis* 2019; 23(6):756-763.
10. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2019: Стат. сб. / Росстат. М., 2019. 1204 с. URL: https://www.gks.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2019.pdf.
11. World Development Indicators 2020. Last Updated Date 09.04.2020. URL: <http://api.worldbank.org/v2/en/indicator/EN.POP.DNST?downloadformat=excel>.
12. Эпидемическая ситуация по туберкулезу в Российской Федерации в 2018 году. URL: https://mednet.ru/images/materials/CMT/2018_god_tuberkulez_epidsituaciya.pdf
13. Эпидемическая ситуация по туберкулезу в Российской Федерации в 2016 г. URL: https://mednet.ru/images/stories/files/2016_god_tuberkulez_epidsituaciya.pdf
14. Эпидемическая ситуация по туберкулезу в Российской Федерации в 2014 г. URL: <https://mednet.ru/images/stories/files/CMT/2014tb.pdf>

15. Ресурсы и деятельность противотуберкулезных организаций Российской Федерации в 2013-2014 годах. URL: https://mednet.ru/images/materials/CMT/rf_tuberkulez_resursy_2013-2014.pdf
16. Ресурсы и деятельность противотуберкулезных организаций Российской Федерации в 2015-2016 годах. URL: https://mednet.ru/images/stories/files/2016_god_tuberkulez_epidsituaciya.pdf
17. Ресурсы и деятельность противотуберкулезных организаций Российской Федерации в 2017-2018 годах. URL: https://mednet.ru/images/materials/CMT/tb-res_2017-2018.pdf
18. Свод правил Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. Введено в действие 14.06.2018. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546>

Крутько Вячеслав Николаевич. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва, Россия. Заведующий отделом. Доктор технических наук, кандидат биологических наук, профессор. Область научных интересов: медицинская информатика и компьютерные системы для оценки и прогноза здоровья и старения. E-mail: krutkovn@mail.ru.

Смирнова Татьяна Михайловна. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва, Россия. Главный специалист. Область научных интересов: медицинская информатика, медицинская статистика, эпидемиология. E-mail: smirnova.tatyana@gmail.com.

A systems analysis of the significance of factors influencing the epidemiological situation of tuberculosis in Russia

V.N. Krut'ko, T.M. Smirnova

Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. A systematic analysis of the interrelationships between the indicators of the epidemic situation of tuberculosis (EST) and economic, demographic and climatic factors has shown that the effectiveness of managing this situation depends on the totality of factors that must be taken into account when developing optimal management strategies both in the Russian Federation and in other countries characterized by significant heterogeneity of regional characteristics. With significant differences between regions, management strategies should be based primarily on specific values of the dynamics of the studied factors within each region, rather than on generalized indicators of the country as a whole. Along with economic indicators, important determinants of EST in the subjects of the Russian Federation are the temperature regime and population density. The general economic level, which determines the quality of life in the constituent entities of the Russian Federation, has a stronger impact on EST than targeted financing of anti-tuberculosis measures.

Keywords: *Russian Federation, regions, tuberculosis, system analysis, morbidity, mortality, financing of anti-tuberculosis measures, gross regional product, per capita income, population density, temperature regime.*

DOI: 10.14357/20790279250207 **EDN:** WVUZOS

References

1. Peter K. Yablonskii, Alexandr A. Vize, Vladimir B. Galkin, Marina V. Shulgina. Tuberculosis in Russia. Its History and Its Status Today. *Am J Respir Crit Care Med.* 2015 Feb 15;191(4):372-6.
2. George B. Ploubidis, Melissa J. Palmer, Charlotte Blackmore, Tek-Ang Lim, Davide Manissero, Andreas Sandgren, Jan C. Semenza. Social Determinants of Tuberculosis in Europe: A Prospective Ecological Study. *Eur Respir J.* 2012 Oct;40(4):925-30.
3. Eltayeb D., Pietersen E., Engel M., Abdullahi L. Factors associated with tuberculosis diagnosis and treatment delays in Middle East and North Africa: a systematic review. *East Mediterr Health J.* 2020 Apr 16;26(4):477-486.
4. Fentabil Getnet, Meaza Demissie, Nega Assefa, Bizatu Mengistie, Alemayehu Worku. Delay in Diagnosis of Pulmonary Tuberculosis in Low-And Middle-Income Settings: Systematic Review and Meta-Analysis. *BMC Pulm Med.* 2017 Dec 13;17(1):202.

5. *Daniel Barros de Castro, Elvira Maria Godinho de Seixas Maciel, Megumi Sadahiro, Rosemary Costa Pinto, Bernardino Cláudio de Albuquerque, José Ueleres Braga.* Tuberculosis Incidence Inequalities and Its Social Determinants in Manaus from 2007 to 2016. *Int J Equity Health.* 2018 Dec 29;17(1):187.
6. *Qi Wang, Liang Guo, Jing Wang, Leijie Zhang, Wanqi Zhu, Yan Yuan, Juansheng Li.* Spatial Distribution of Tuberculosis and Its Socioeconomic Influencing Factors in Mainland China 2013-2016. *Trop Med Int Health.* 2019 Sep;24(9):1104-1113.
7. *Yuanyuan Xiao, Limei He, Ying Chen, Qinying Wang, Qiong Meng, Wei Chang, Lifeng Xiong, Zhen Yu.* The Influence of Meteorological Factors on Tuberculosis Incidence in Southwest China From 2006 to 2015. *Sci Rep.* 2018 Jul 3;8(1):10053.
8. *Hans L. Rieder.* Epidemiologic Basis of Tuberculosis Control. First edition 1999. International Union against Tuberculosis and Lung Disease 68, boulevard Saint-Michel, 75006 Paris.
9. *Stracker N., Hanrahan C., Mmolawa L., Nonyane B., Tampi R., Tucker A., West N., Lebina L., Martinson N., Dowdy D.* Risk Factors for Catastrophic Costs Associated With Tuberculosis in Rural South Africa. *Int J Tuberc Lung Dis* 2019; 23(6):756-763.
10. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2019: Стат. сб. / Росстат. М., 2019. 1204 с. URL: https://www.gks.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2019.pdf
11. World Development Indicators 2020. Last Updated Date 09.04.2020. URL: <http://api.worldbank.org/v2/en/indicator/EN.POP.DNST?downloadformat=excel>
12. Эпидемическая ситуация по туберкулезу в Российской Федерации в 2018 году. URL: https://mednet.ru/images/materials/CMT/2018_god_tuberkulez_epidsituaciya.pdf
13. Эпидемическая ситуация по туберкулезу в Российской Федерации в 2016 г. URL: https://mednet.ru/images/stories/files/2016_god_tuberkulez_epidsituaciya.pdf
14. Эпидемическая ситуация по туберкулезу в Российской Федерации в 2014 г. URL: <https://mednet.ru/images/stories/files/CMT/2014tb.pdf>
15. Ресурсы и деятельность противотуберкулезных организаций Российской Федерации в 2013-2014 годах. URL: https://mednet.ru/images/materials/CMT/rf_tuberkulez_resursy_2013-2014.pdf
16. Ресурсы и деятельность противотуберкулезных организаций Российской Федерации в 2015-2016 годах. URL: https://mednet.ru/images/stories/files/2016_god_tuberkulez_epidsituaciya.pdf
17. Ресурсы и деятельность противотуберкулезных организаций Российской Федерации в 2017-2018 годах. URL: https://mednet.ru/images/materials/CMT/tb-res_2017-2018.pdf
18. Свод правил Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. Введено в действие 14.06.2018. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546>

Vyacheslav N. Krut'ko. Professor, Doctor of Technical Sciences, Candidate of Biological Sciences. Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. Research interests: medical informatics and computer systems for the assessment and prognosis of health and aging. E-mail: krutkovn@mail.ru

Tatiana M. Smirnova. Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. Research interests: medical informatics, medical statistics, epidemiology. E-mail: smirnova.tatyana@gmail.com