



Munich Personal RePEc Archive

Computable general equilibrium model for assessing the economic effect of early diagnosis of Parkinson's disease

Tourdyeva, Natalia and Bogatova, Irina and Vartanov,
Sergey and Denisova, Irina and Chubarova, Tatiana and
Shakleina, Marina and Polterovich, Victor

Moscow State University

10 January 2021

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/105182/>
MPRA Paper No. 105182, posted 11 Jan 2021 10:29 UTC

Н.А. Турдыева (ЦБ РФ), И.Э. Богатова (МШЭ МГУ), С.А. Вартанов (МШЭ МГУ), И.А. Денисова (МГУ), Т.В. Чубарова (ИЭ РАН), М.В. Шаклеина (МШЭ МГУ), В.М. Полтерович (ЦЭМИ РАН, МШЭ МГУ)^{1 2}

**Расчетная модель общего равновесия для оценки
экономического эффекта ранней диагностики болезни
Паркинсона**

**Computable general equilibrium model for assessing the economic
effect of early diagnosis of Parkinson's disease**

Abstract

This paper presents a new CGE model of the Russian economy with a health block. We estimate effects of Parkinson's disease (PD) on the Russian economy and population. We distinguish two mechanisms transmitting effects of the PD: a change in the quality of life of a representative household and a decrease in labor supply due to early retirement caused by PD. Our main focus is on effects of early diagnosis of PD coupled with the use of neuroprotective therapy at the prodromal stage of PD.

Calculations showed that the cumulative economic effect of PD on the Russian economy, taking into account the forecast of an increase in the incidence of PD over 30 years, can lead to a loss of real GDP in the amount of -0.86%, and a decrease in the utility of households over the same period in the amount of -1.11% of the consumption level of the base year.

The high efficiency of early diagnosis in combination with neuroprotective therapy was shown: the cumulative effect, taking into account the prognosis of an increase in the incidence of PD over 30 years of using this method, can give a gain of about 0.68% of the base year GDP, which is accompanied by an increase in the welfare of a representative consumer in the amount of 0.88 % of the baseline consumption. We show that the prevailing channel of influence of PD on macroeconomic parameters is the effect of a reduction in the supply of labor due to an increase in the disability of patients with PD.

Keywords: computable general equilibrium models; CGE with health block; simulations; macroeconomic modelling; Parkinson's disease; early diagnostic; Russia

JEL Codes: C68, D58, H43, I18

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта No 18-00-00764 «КОМФИ»

² Автор для контактов: Наталья А. Турдыева, email: ntourdyeva@gmail.com

Аннотация

В данной работе представлена новая расчетная модель общего равновесия экономики России с блоком здоровья населения. В рамках данной модели были проведены расчеты экономических последствий заболеваемости болезнью Паркинсона (БП), исследованы различные механизмы воздействия: изменение качества жизни репрезентативного домохозяйства и сокращение предложения труда вследствие преждевременного выбытия с рынка труда, вызванного БП. Также была проведена оценка эффективности применения ранней диагностики БП и использования комплексной нейропротекторной терапии на продромальной стадии течения БП.

Расчеты показали, что кумулятивный экономический эффект на экономику России с учетом прогноза роста заболеваемости БП за 30 лет составляет к потере реального ВВП в размере -0,86%, и сокращению полезности домохозяйств за это же время в объеме -1,11% от уровня потребления базового года. Была показана высокая эффективность ранней диагностики в сочетании с нейропротекторной терапией: кумулятивный эффект с учетом прогноза роста заболеваемости БП за 30 лет применения такого метода может дать выигрыш порядка 0,68% величины ВВП базового года, что сопровождается ростом благосостояния репрезентативного потребителя в размере 0,88% от базового уровня потребления. Исследование каналов влияния БП на макроэкономические параметры выявило преобладающее воздействие сокращения предложения труда из-за роста нетрудоспособности заболевших БП.

Ключевые слова: расчетные модели общего равновесие; моделирование здоровья населения; сценарные расчеты; макроэкономическое моделирование; болезнь Паркинсона; ранняя диагностика

Коды JEL: C68, D58, H43, I18

1. Введение

Рост продолжительности жизни во всем мире поставил множество проблем, от устойчивости пенсионной системы до роста числа нейродегенеративных заболеваний. Второе по распространенности после болезни Альцгеймера нейродегенеративное заболевание – болезнь Паркинсона (БП). Влияние БП на экономику страны не ограничивается ухудшением качества жизни заболевших и членов их семей, осуществляющих уход за больными. Распространение БП также приводит к росту нетрудоспособности в предпенсионном возрасте, что сокращает предложение труда в экономике. Такого рода мультипликативные эффекты необходимо принимать в расчет при оценке совокупного влияния БП. Это возможно сделать в рамках расчетной модели общего равновесия (computable general equilibrium models, CGEM), где учитывается не только непосредственное влияние БП на качество жизни населения, но и влияние сокращения предложения труда на все отрасли экономики.

Особенностью БП является проявление первых клинических симптомов на продвинутых стадиях нейродегенеративного процесса, что приводит к быстрому прогрессированию заболевания, и ограниченным возможностям улучшения качества жизни больных БП.

В этой связи во всем мире идут активные исследования ранней диагностики БП и использования комплексной нейропротекторной терапией на продромальной стадии течения БП. Оценке экономического эффекта от внедрения ранней диагностики БП (Гусев et al. 2021) на экономику России в рамках общего равновесия посвящено данное исследование.

Авторы статьи ставили несколько целей: разработать расчетную модель общего равновесия с блоком здоровья населения, в рамках которой возможно оценить макроэкономический эффект от БП, исследовать относительную важность разных каналов влияния БП на экономику страны, а также оценить эффект от применения ранней диагностики совместно с нейропротекторной терапией на продромальной стадии течения БП.

В данной статье авторы представляют новую расчетную модель общего равновесия с блоком здоровья населения для оценки последствий ранней диагностики БП для экономики России. Новизна такого подхода обусловлена не только включением отдельного производственного блока медицинских услуг, выделенного из общего спектра предоставления услуг, но и моделированием качества жизни репрезентативного потребителя. Качество жизни репрезентативного потребителя зависит от частных расходов на медицинские услуги и экзогенного параметра эффективности этих расходов, определяемого в терминах QALY (quality-adjusted life years). При прочих равных, снижение качества жизни приводит к снижению благосостояния домохозяйств, даже при стабильном уровне потребления всех остальных благ. Такого рода подходы уже разрабатывались в зарубежной литературе, но еще не применялись к оценке экономических последствий БП.

Предложенная модель обладает достаточной степенью универсальности для того, чтобы использовать ее в качестве основы для изучения последствий других видов государственной политики в области здравоохранения, в частности, с помощью предложенного нами подхода можно провести анализ социально-экономических последствий заболеваемости болезнью Альцгеймера. Также данный подход можно использовать при оценке социально-экономических последствий эпидемии COVID-19.

В данном исследовании проведена оценка динамического эффекта от роста заболеваемости с 2020 по 2050 год. Используя прогноз роста заболеваемости БП в России (Гусев et al. 2021) и демографические прогнозы Росстата (до 2036 года) и ООН (до 2100 года) мы прогнозируем заболеваемость БП в России на период до 2050 года. На основании этого прогноза мы оценили кумулятивные социально-экономические эффекты от роста заболеваемости БП в ближайшие 30 лет, а также оцениваем эффективность перехода на методику ранней диагностики за этот период в терминах изменения реального ВВП и благосостояния населения.

Кумулятивный экономический эффект БП с учетом прогноза роста заболеваемости за 30 лет оценен в размере $-0,86\%$ от величины ВВП базового года, сокращение полезности населения за это же время ожидается в объеме $-1,11\%$ от уровня потребления базового года.

В статье показана высокая эффективность ранней диагностики в сочетании с нейропротекторной терапией на продромальной стадии течения БП. Кумулятивный эффект с учетом прогноза роста заболеваемости БП за 30 лет применения такого метода может дать выигрыш порядка $0,68\%$ величины ВВП базового года, что соответствует выигрышу (росту благосостояния репрезентативного потребителя) в размере $0,88\%$ от базового уровня потребления.

Исследование каналов влияния БП на макроэкономические параметры выявило преобладающее воздействие сокращения предложения труда из-за роста нетрудоспособности заболевших БП.

Расчеты показали, что для параметров, использованных в сценарных расчетах, ранняя диагностика совмещенная с нейропротекторной терапией, в случае успешного течения лечения, практически полностью нивелирует негативные эффекты БП на предложение рабочей силы. Это приводит к высокому положительному эффекту применения ранней диагностики.

Необходимо отметить, что данные расчеты чрезвычайно чувствительны к параметрам сценариев, в частности – к проценту удачных исходов досимптомной диагностики и сопутствующей нейропротекторной терапии.

Дальнейшее повествование построено следующим образом: во второй части обсуждается модельный подход к социально-экономической оценке эффектов болезни Паркинсона на экономику России. Эта часть включает обсуждение использования расчетных моделей общего равновесия в исследовании вопросов здоровья населения, вид блока здоровья населения в модели, механизмы влияния заболеваемости БП на экономику и механизмы

влияния внедрения ранней диагностики БП. В третьем разделе статьи описана калибровка параметров модели и управляющих воздействий для сценарных расчетов: коэффициента эффективности расходов на здравоохранение (качество жизни репрезентативного потребителя) и коэффициента участия в рабочей силе. В четвертом разделе приведены результаты сценарных вычислений и анализ чувствительности результатов моделирования к эластичности замещения между здоровьем и потреблением в функции полезности репрезентативного потребителя. Заключительный пятый раздел завершает статью. В приложении приведена алгебраическая структура модели и прогнозы числа больных и распространенности БП в России.

2. Модельный подход к оценке эффектов БП на экономику России

Проблемы, связанные с здоровьем населения, все чаще выходят на общенациональный уровень и требуют комплексных подходов к анализу возможных последствий. История применения расчетных моделей общего равновесия для исследования проблем здравоохранения и здоровья населения насчитывает несколько десятков лет, начиная с анализа последствий эпидемии ВИЧ в африканских странах (Kambou, Devarajan, and Over 1992), продолжая традицией использования прикладных моделей общего равновесия для оценки загрязнения воздуха (Chen et al. 2019), (Paltsev et al. 2005), (Mayeres and Van Regemorter 2008), а также разнообразных исследований хронических заболеваний (H. T. Jensen et al. 2019).

Использование расчетных моделей общего равновесия в исследовании вопросов здоровья населения

В последнее время во всех странах на первый план выходят вопросы, связанные со старением населения. Это касается, в первую очередь распространения нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера и болезнь Паркинсона. Нам известно только одна статья, использующая CGE в данном контексте; она посвящена анализу последствий распространения болезни Альцгеймера для экономики Китая (Keogh-Brown et al. 2016). Исследования о последствиях болезни Паркинсона в рамках расчетных моделей общего равновесия еще не проводилось. Данная статья призвана положить начало комплексному исследованию социально-экономических последствий болезни Паркинсона с помощью расчетных моделей общего равновесия на примере последствий для экономики России.

Расчетные (прикладные) модели общего равновесия – это система балансовых уравнений, описывающая связи и поведение экономических агентов в экономике. Численные параметры уравнений модели основаны на статистических данных одного года или усредненных данных за несколько лет.

Предполагаемый комплекс мероприятий, связанный с введением ранней диагностики БП (Гусев et al. 2021), задается изменением управляющих параметров, связанных с показателями рынка труда (Keogh-Brown et al. 2016), и системы здравоохранения (H. T. Jensen et al. 2013). Выводы о последствиях предлагаемого комплекса мероприятий получают сравнением базового набора данных и нового равновесия, полученного в результате расчетов.

Блок здоровья населения в модели

Одним из подходов, использованным в литературе, является модификация функции полезности репрезентативного потребителя в соответствии с классическим подходом к моделированию человеческого капитала (Grossman 2000). В рамках этого подхода показатель здоровья напрямую влияет на благосостояние репрезентативного потребителя (Borger,

Rutherford, and Won 2008). В этом случае здоровье населения зависит от частных расходов на здравоохранение (1).

$$U(C, H) = \bar{W} \left[\theta_w \left(\frac{H}{\bar{H}} \right)^{\frac{\sigma_w - 1}{\sigma_w}} + (1 - \theta_w) \left(\frac{C}{\bar{C}} \right)^{\frac{\sigma_w - 1}{\sigma_w}} \right]^{\frac{\sigma_w}{\sigma_w - 1}} \quad (1)$$

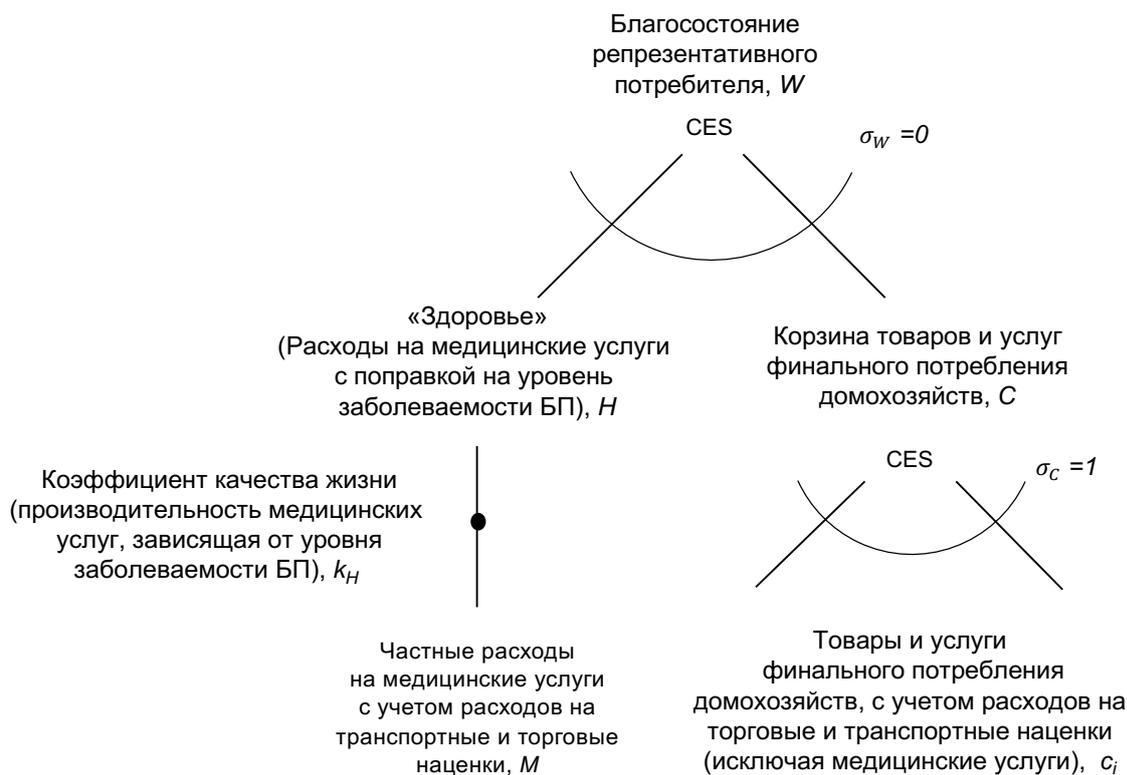
Где $U(C, H)$ – функция полезности репрезентативного потребителя; \bar{W} – уровень благосостояния потребителя в базовом году; $C = CD(c_1, \dots, c_i, \dots, c_n)$ – потребительская корзина $i=1, n$ репрезентативного потребителя, функция Кобба-Дугласа от c_i – объема потребления товара i репрезентативным потребителем, $i=1, n$; \bar{C} – уровень потребления в базовом году; $H = H(k_H, M)$ – уровень здоровья, зависящий от частных расходов на медицинские услуги; \bar{H} – уровень здоровья в базовом году; θ_w – долевым коэффициент CES-функции; σ_w – эластичность замещения между уровнем здоровья и потреблением.

Мы модифицировали стандартный подход к моделированию здоровья населения: в нашей модели здоровье зависит не только от величины частных расходов на здравоохранение (M), но и от качества жизни заболевших болезнью Паркинсона. Качество жизни учитывается с помощью коэффициента сокращения ожидаемой продолжительности жизни (k_H), выраженной в годах жизни репрезентативного потребителя с поправкой на качество жизни (QALY) (2) (Рисунок 1).

$$H(k_H, M, \chi_k) = k_H * \min \left(\frac{M}{\bar{M}}; \frac{\chi_k}{\bar{\chi}_k} \right) \quad (2)$$

Где k_H – коэффициент качества жизни репрезентативного потребителя; χ_k – торговые и транспортные услуги, необходимы для поставки медицинских услуг M на рынок финального потребления домохозяйств, $k \in (\text{transport, trade})$;

Рисунок 1. Структура предпочтений репрезентативного домохозяйства.



Источник: авторы

В этом случае коэффициент качества жизни можно интерпретировать как производительность частных расходов на здравоохранение. В случае роста заболеваемости тот же уровень расходов обеспечивает более низкий уровень здоровья репрезентативного потребителя, следовательно, уровень благосостояния будет ниже.

Основные каналы влияния комплекса мероприятий, связанных с ранней диагностикой БП, на макроэкономические показатели экономики России осуществляются через качество здоровья населения, рынок труда и частные издержки на здравоохранение.

Механизмы влияния заболеваемости БП и внедрения ранней диагностики

Мы учитываем два канала влияния БП на экономику: ухудшение качества жизни и выбытие из рынка труда.

Как уже отмечалось выше, ухудшение качества жизни задается параметром в функции здоровья репрезентативного потребителя. Совокупный уровень здоровья зависит от объема частных расходов на здравоохранение и экзогенного параметра, характеризующего эффективность этих расходов. С ростом заболеваемости БП при том же уровне расходов качество жизни падает, что соответствует уменьшению экзогенного параметра $[k_H]$.

Оценка влияния распространенности БП соответствует сокращению коэффициента в функции здоровья по сравнению с единичным значением в базовом случае $[\overline{k_H} = 1]$ до значения $[k_H = k_H^S < 1]$ в сценарном расчете, описывающем стандартные методы лечения БП.

Оценка влияния внедрения ранней диагностики БП происходит за счет изменения коэффициента эффективности в функции здоровья $[1 > k_H^E > k_H^S]$.

Влияние выбытия из рабочей силы из-за БП сказывается на совокупном предложении труда в экономике. Это влияние описывается коэффициентом $[k_{LS}]$ корректирующим предложение труда по сравнению с базовым равновесием. В модели принято предположение о том, что в базовом равновесии нет БП. Следовательно, оценка влияния БП на экономику происходит через уменьшение коэффициента участия в рабочей силе $[k_{LS}^S < 1]$. Более подробно алгебраическая структура модели представлена в Приложении.

3. Калибровка параметров модели

Параметризация расчетной модели общего равновесия в части макроэкономических и отраслевых взаимодействий осуществлена на основе данных системы таблиц «Затраты-выпуск» за 2016 год.

Массив данных для модели состоит из трех частей: экономические показатели, описывающие экономику России в базовом году в форме матрицы социальных счетов (МСС), поведенческие параметры из соответствующей литературы (величины эластичностей замещения), а также блок параметров, характеризующих процесс ранней диагностики БП и затрат на лечение.

Таблицы «затраты-выпуск» состоят из таблицы ресурсов, таблиц использования в ценах покупателей и базовых ценах, таблиц использования отечественных и импортных товаров, таблиц транспортных и торговых наценок и таблицы налогов. Детализированные данные оригинальных таблиц по секторам и видам товаров были агрегированы. Преобразование таблиц «затраты-выпуск» в массив данных для модели CGE подробно показано в работе (Rutherford and Paltsev 1999).

В модели выделено семь видов товаров и соответствующие им производящие сектора (Таблица 1).

Таблица 1. Отрасли и товарные группы в модели

№	Код	Название отрасли
1	agr	Сельское хозяйство
2	ext	Добывающая промышленность
3	mnf	Обрабатывающие отрасли
4	trn	Транспорт
5	trd	Торговля
6	srv	Услуги
7	med	Медицинские услуги

Источник: авторы

Калибровка параметров: коэффициент эффективности расходов на здравоохранение и коэффициент участия в рабочей силе

Отправной точкой в оценке обоих коэффициентов является величина распространённости БП в России. В литературе существуют различные оценки значения распространённости паркинсонизма на 100 000 населения (Раздорская, Воскресенская, and Юдина 2016): принимая во внимание разные условия проведения исследований диапазон оценок составляет [120-180] чел на 100 000 населения. Однако, этот диапазон отражает состояние распространённости БП в 2005-2011 годах, когда проводились региональные исследования, вложенные в обзор (Раздорская, Воскресенская, and Юдина 2016).

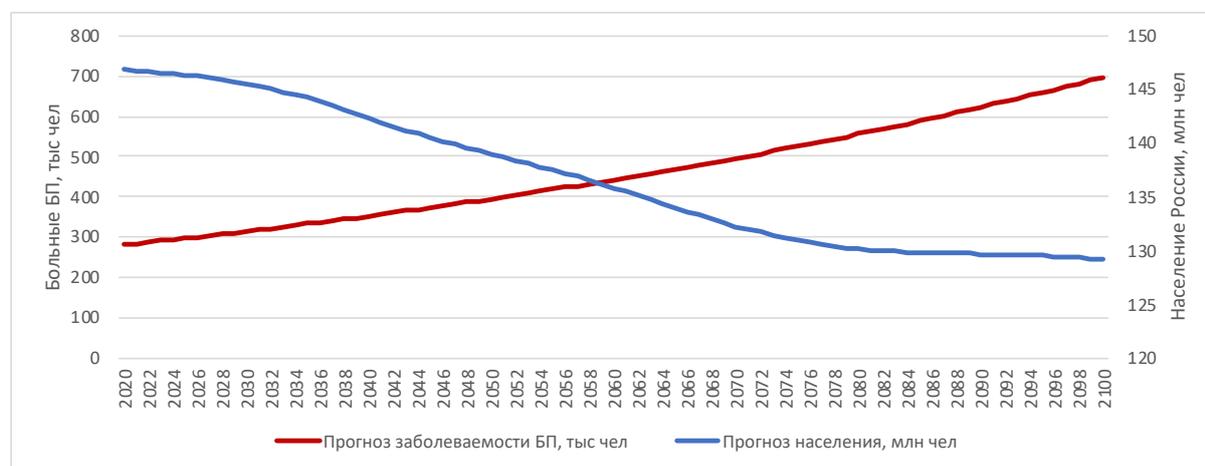
Для целей нашей модели мы использовали собственный прогноз числа больных БП на основе данных IHME (*Institute for Health Metrics and Evaluation, USA*). Найденная формула имеет вид (3):

$Y = 197307 e^{0,01138t}$	(3)
---------------------------	-----

где Y – число больных, t – число лет после 1989 г. Средняя ошибка расчета составляет 0,51%. (Гусев и др., 2020).

Для расчета долгосрочного прогноза распространенности БП в России мы использовали средний демографический прогноз Росстата до 2036 года (Росстат 2019) и продлили его до 2100 года с учетом параметров изменения численности населения России в среднем прогнозе ООН (United Nations DESA 2019). Прогнозные значения приведены в Приложении (Таблица 6).

Рисунок 2. Прогноз числа больных БП и населения России до 2100 года.



Источник: Росстат, UN DESA, расчеты авторов

Для калибровки значения коэффициента раннего выхода с рынка труда в случае стандартной терапии и ранней диагностики $[k_{LS}]$ нам необходимы оценки доли трудящихся, вышедших с рынка труда досрочно из-за БП. На основании работы (Johnson et al. 2011) мы оценили этот показатель в размере 30%. Другими словами, из всех заболевших БП 30% уходят с рынка труда до пенсии. Тем самым мы получили оценку сокращения предложения труда в случае стандартного лечения БП.

Инновационный подход к лечению БП сочетает раннюю диагностику в районе 45 лет и последующую нейропротекторную терапию с течение последующих 30 лет. По данным (Гусев et al. 2021) процент положительного отклика на лечение на продромальной стадии равен 80%. Следовательно, эти больные не выходят досрочно с рынка труда, так как они успевают выйти на пенсию до момента перехода БП в клиническую стадию. Другими словами, ранний выход с рынка труда возможен только у 20% от заболевших БП и

получающих нейропротекторную терапию. Соответствующие формулы приведены в таблице ниже (Таблица 2).

Таблица 2. Значения параметров и источники для калибровки сценарных условий раннего выхода из рынка труда в случае стандартной терапии и ранней диагностики

Параметр	Значение	Источник
Прогноз распространённости БП (чел на 100 000 населения) в 2020 г.	191	(Шаклеина и др. 2020), (Раздорская, Воскресенская, and Юдина 2016)
Доля вышедших с рынка труда в первые 10 лет заболевания	30%	(Johnson et al. 2011)
Доля пациентов, получавших нейропротекторную терапию, но заболевших БП	20%	(Гусев и др. 2021)
k_{LS}^S - коэффициента участия в рабочей силе при стандартном методе лечения	0,999427	$k_{LS}^S=1 - (0,3* 191/100000)$
k_{LS}^E - коэффициента участия в рабочей силе при ранней диагностике и нейропротекторной терапии	0,999885	$k_{LS}^E=1 - 0,2*(0,3* 191/100000)$

Параметризация блока «здравоохранение» сделана с учетом результатов, полученных в предшествующих этапах проекта, в которых была проведена оценка эффективности ранней диагностики БП: оценка эффективности доклинической диагностики болезни Паркинсона методом "затраты-полезность" (Denisova et al. 2020), экономическая эффективность доклинической диагностики болезни Паркинсона: марковская модель (Вартанов et al. 2020), а также с учетом социально-экономических детерминант заболеваемости БП (Шаклеина et al. 2020).

Таблица 3. Значения параметров и источники для калибровки сценарных условий качества жизни в случае стандартной терапии и ранней диагностики

Параметр	Значение	Источник
Заболеваемость (чел на 100 000 населения)	191	(Шаклеина et al. 2020), (Раздорская, Воскресенская, and Юдина 2016)
Ожидаемая продолжительность жизни больных БП при стандартном методе лечения в годах с поправкой на качество жизни (QALY)	60,37	Средний возраст проявления клинических симптомов – 55 лет (Denisova et al. 2020), средняя продолжительность стадий БП: 1ая стадия - 20 мес; 2ая стадия - 87 мес; 3я стадия - 24 мес; 4ая стадия - 26 мес; 5ая стадия - 23 мес (Zhao et al. 2010), качество жизни составляет 0,9 на первой стадии БП, 0,4 на 2 стадии, 0,25 на 3 стадии, 0,2 на 4 стадии, и 0,02 на пятой стадии развития БП (Munoz et al. 2017).
Ожидаемая продолжительность жизни больных БП ранней диагностики в годах с поправкой на качество жизни (QALY)	63,37	Результат оценки эффекта применения инновационного подхода состоящего из ранней диагностики и последующей нейропротекторной терапии с помощью марковской модели – 3 года QALY (Вартанов et al. 2020)
Ожидаемая продолжительность жизни в России при рождении	72,91	(Росстат 2019)
k_H^S - коэффициента качества жизни при стандартном методе лечения	0,999671	$99,809\% * 1 + 0,191\% * (60,37/72,91)$
k_H^S - коэффициента качества жизни при ранней диагностике	0,999750	$99,809\% * 1 + 0,191\% * (63,37/72,91)$

Источник: расчеты авторов

Согласование между расчетной моделью общего равновесия (CGEM) и марковской моделью (Вартанов и др., 2020) происходит на стадии оценки качества жизни репрезентативного потребителя при использовании ранней диагностики БП. Согласно результатам исследования (Вартанов и др., 2020) использование доклинической диагностики и нейропротекторной терапии приводит к росту продолжительности жизни пациентов с БП на три QALY года. Это значение используется в модели CGEM для оценки качества жизни репрезентативного потребителя в случае полного внедрения ранней диагностики БП.

Эффективность ранней диагностики оценивается сравнением эффектов двух сценариев для каждого уровня заболеваемости (PD_t):

а) стандартный вариант лечения

б) постепенный переход на раннюю диагностику в течение 15 лет

Постепенный переход на раннюю диагностику отличается от стандартного метода лечения 1) долей рабочей силы, которая выходит с рынка, 2) качеством жизни. Качество жизни рассчитывается как средневзвешенное качество жизни для репрезентативного потребителя:

$$LQ_t = (1-PD_t)*1+PD_t*LQI$$

где LQI - качество жизни больных, равное отношению продолжительности жизни пациентов с БП в QALY-годах по отношению к ожидаемой продолжительности жизни репрезентативного потребителя.

При расчете принято предположение, что клинические симптомы БП начинаются в 55 лет, ожидаемая продолжительность жизни - 72,91 лет. До 55 лет - качество жизни = 1, после 55 лет качество жизни резко падает и в пересчете на годы QALY составляет 5,4 года в случае обычного лечения, тем самым сокращая продолжительность жизни в QALY годах до 60,4 лет.

Используя результат (Вартанов et al. 2020), можно оценить изменения в качестве жизни больных БП при полном переходе к ранней диагностике: QALY годы жизни пациентов увеличиваются на 3 года, и составляют 55+5,4+3=63,4 QALY лет.

В итоге оценка качества жизни репрезентативного потребителя в 2020 году с учетом прогноза заболеваемости в 191 чел на 100000 населения, составляет:

$LQ_{2020}^S = 99,809\%*1+0,191\%*(60,37/72,65) = 0,999671$ - в случае стандартного лечения.

$LQ_{2020}^E = 99,809\%*1+0,191\%*(63,37/72,65) = 0,999750$ - в случае ранней диагностики.

На основе построенной статической модели можно построить два варианта динамической CGE-модели. Первый вариант основан на предположении, что динамика внедрения нового метода является линейной во времени. При этом модель трансформируется в серию последовательных расчетов, базирующихся на полученном нами прогнозе заболеваемости БП. Именно этот упрощенный вариант использован нами в расчетах. Второй вариант согласования CGEM и марковской модели более сложен. Марковская модель позволяет определить траектории предложения рабочей силы при стандартном и новом вариантах лечения. Это позволит более точно прогнозировать динамику ВВП, уровни затрат и удовлетворенности потребителей. Построение такой модели – задача будущих исследований.

4. Результаты сценарных вычислений

В таблице (Таблица 4) представлены результаты сценарных расчетов. Влияние БП при стандартном методе лечения проявляется через два канала: сокращение качества жизни (Гр.1) и преждевременный выход из рабочей силы (Гр.2). В таблице приведены оценки изменения макроэкономических показателей для каждого из этих каналов влияния (Гр.3).

Результаты сценарных расчетов в графах 1-4 приведены в % от значений базового года, в графе 5 – разница в значениях граф 4 и 3.

Таблица 4. Результаты сценарных вычислений (изменения в % от значений базового года)

	Стандартное лечение БП			Кумулятивный эффект двух каналов влияния при стандартном лечении БП за 30 лет (с учетом роста заболеваемости с 2020 до 2050 года)	Доклиническая диагностика БП (совокупный эффект)	Последствия применения доклинической диагностики БП по сравнению со стандартным лечением	Накопленный эффект за 30 лет с учетом перехода к доклинической диагностике БП в течение 15 лет (с учетом роста заболеваемости с 2020 до 2050 года)
	Эффект от сокращения качества жизни	Эффект от преждевременного выбытия из рабочей силы	Совокупный эффект двух каналов влияния при стандартном лечении БП				
	Гр.1	Гр.2	Гр.3	Гр.4	Гр.5	Гр.6	Гр.7
Декомпозиция изменений реального ВВП							
Изменение реального ВВП	-0,00024	-0,02256	-0,02280	-0,86	-0,00470	0,01810	0,53
Изменения реального частного потребления	-0,00040	-0,02901	-0,02941	-1,11	-0,00611	0,02329	0,68
Изменения реального государственного потребления	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	
Изменения реального инвестиционного спроса	-0,00021	-0,03479	-0,03500		-0,00712	0,02787	
Изменения реального экспорта	-0,00012	-0,02064	-0,02076		-0,00422	0,01653	
Изменения реального импорта	-0,00017	-0,03076	-0,03093		-0,00629	0,02464	
Производство							
Изменение индекса совокупного производства	-0,00002	-0,02287	-0,02288		-0,00459	0,01829	
Изменение индекса производства с/х продукции	-0,00001	-0,00080	-0,00081		-0,00017	0,00064	
Изменение индекса добывающих отраслей	-0,00001	-0,00132	-0,00133		-0,00027	0,00106	
Изменение индекса обрабатывающей промышленности	-0,00003	-0,00606	-0,00609		-0,00124	0,00485	
Изменение индекса предоставления услуг	-0,00011	-0,01455	-0,01466		-0,00300	0,01166	
Изменение фонда оплаты труда	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	
Изменение благосостояния в % от потребления домохозяйств	-0,00040	-0,02901	-0,02941	-1,11	-0,00611	0,02329	0,68
Изменение благосостояния в % от ВВП	-0,00019	-0,01421	-0,01440	-0,55	-0,00299	0,01141	0,34

Источник: расчеты авторов

Как видно из таблицы, сокращение реального ВВП из-за болезни Паркинсона при стандартном методе лечения составляет -0,02%. от значения этого параметра в базовом равновесии. Ведущим эффектом является сокращение потребления домохозяйств, которое обусловлено двумя негативными факторами: сокращением поступлений заработной платы и необходимостью увеличить расходы на медицинские услуги, так как от частных расходов на медицинские услуги зависит показатель уровня здоровья репрезентативного домохозяйства. Следом за ростом расходов и сокращением доходов репрезентативного домохозяйства падают сбережения, которые

формируют доходную часть инвестиционно-сберегательного банка. Это приводит к сокращению потребления инвестиционных товаров в экономике. Напомним, что мы изменение инвестиций в рамках нашей модели можно трактовать только как изменение категории финального спроса, без непосредственного влияния на объем капитала в экономике.

Государственные расходы зафиксированы в реальном выражении на уровне базового года.

Изменения в объеме экспорта и импорта требуют чуть более расширенных объяснений. В моделях общего равновесия определены только относительные цены. В данном случае мы говорим о ценах в терминах нумератора модели – индекса потребительских цен. Этот индекс фиксирован и равен 1 во всех расчетах. Следовательно, рост какой-либо цены говорит о том, что в данном сценарии эта цена будет расти быстрее ИПЦ. Как раз это и происходит с зарплатой во всех сценариях, при этом цена капитала – падает. Мы обсудим причины роста зарплаты чуть позже, сейчас же проследим за тем, что происходит внутри экономики при росте зарплат. Рост зарплаты, и, как следствие, рост издержек на производство в новом равновесии сопровождается снижением производства, снижением экспорта и падением реального курса домашней валюты. Ослабление домашней валюты усиливает эффект роста издержек производства, так как повышает цены на промежуточные товары, которые получают из импорта и отечественных товаров для домашнего рынка.

Вернемся к росту зарплат во всех сценариях. Поскольку мы выделяем два разных механизма, можно рассмотреть отдельно изменения зарплат в случае оценки эффекта снижения качества жизни и раннего выхода на пенсию. В рамках сценария оценки последствий снижения качества жизни из-за БП происходит изменение показателя «уровень здоровья», который можно понимать как показатель качества жизни. С точки зрения функции полезности репрезентативного потребителя – это важный показатель, так как «уровень здоровья» входит в функцию полезности. Причем для достижения уровня благосостояния базового года необходимы как базовый уровень здоровья (условно принятый за 1), так и базовый уровень потребления. Как мы уже отмечали ранее – показатель уровня здоровья зависит от объема частных расходов на медицину и экзогенного параметра изменения качества жизни из-за БП при стандартном лечении и доклинической диагностике. Следовательно, в сценарии сокращения уровня здоровья репрезентативный потребитель сталкивается с сокращением благосостояния, вызванного падением качества жизни. Это приводит к необходимости компенсировать экзогенное воздействие снижения качества жизни за счет роста медицинских расходов. Следовательно, увеличивается спрос на медицинские услуги. Однако, следует помнить, что медицинские услуги – это трудоемкая отрасль. Рост спроса на трудоемкие медицинские услуги приводит к относительному росту спроса на труд по сравнению со спросом на капитал. В нашей модели принято предположение о

полном использовании всех факторов производства. Следовательно, цена труда растет по сравнению с ценой капитала.

Рост зарплаты также зафиксирован в сценарии раннего выхода с рынка труда. В этом случае сокращение фактора производства (труда) приводит к росту его цены. Надо отметить, что в случае сокращения предложения труда эффекты на зарплату значительно больше, чем в случае сокращения качества жизни. Эта разница отчасти объясняет то, что эффекты от сокращения предложения труда значительно более выражены на уровне макроэкономических параметров.

В случае использования ранней диагностики отрицательные эффекты практически нивелируются. В основном это вызвано тем, что в рамках использованных предположений при ранней диагностике практически не происходит выбытия из рабочей силы. Напомним, что средний возраст проявления клинических симптомов в нашей модели – 55 лет (Denisova et al. 2020). При проведении ранней диагностики в 45 лет и успешном лечении (80% всех пациентов, у которых была диагностирована продромальная стадия БП), в течение следующих 30 лет не начнется первая стадия БП. Следовательно, только у 20% из пациентов в продромальной стадии разовьется БП в 55 лет. Другими словами, выбытие из рабочей силы может происходить только в этой группе. С точки зрения модели – размер сокращения рабочей силы с случае ранней диагностики уменьшился до 20% от величины в сценарии сокращения рабочей силы при стандартном лечении.

Необходимо отметить, что данные расчеты чрезвычайно чувствительны к параметрам сценариев, в частности – к проценту удачных исходов досимптомной диагностики и сопутствующей нейропротекторной терапии.

Кумулятивный экономический эффект с учетом прогноза роста заболеваемости БП на экономику России за 30 лет может привести к потере реального ВВП в размере -0,86%, и сокращению полезности домохозяйств за это же время в объеме -1,11% от уровня потребления базового года.

Результаты показали высокую эффективность ранней диагностики в сочетании с нейропротекторной терапией на продромальной стадии течения БП (Гусев et al. 2021). Кумулятивный эффект с учетом прогноза роста заболеваемости БП за 30 лет применения такого метода может дать выигрыш порядка 0,68% величины ВВП базового года, что соответствует выигрышу (росту благосостояния репрезентативного потребителя) в размере 0,88% от базового уровня потребления. Исследование каналов влияния БП на макроэкономические параметры выявило превалирующее воздействие сокращения предложения труда из-за роста нетрудоспособности заболевших БП.

Сокращение стоимости медицинских услуг при ранней диагностике составляет -79,8% по сравнению с уровнем в условиях стандартного лечения. Это значение согласуется с данными исследования экономической эффективности доклинической диагностики болезни Паркинсона с

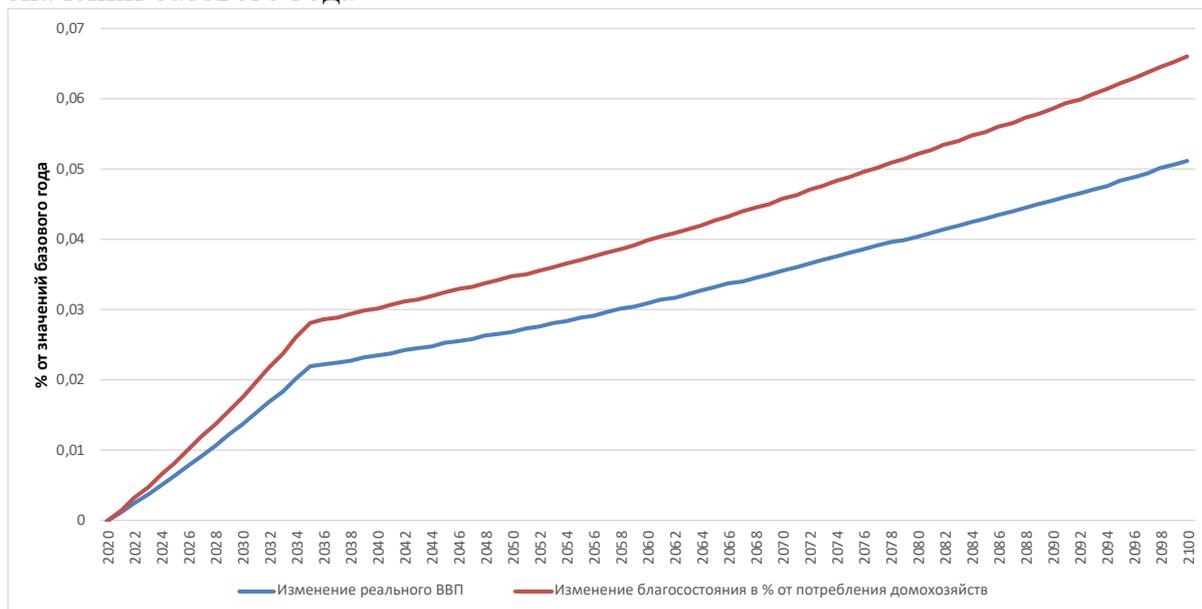
использованием марковской модели (Вартанов et al. 2020), где общие затраты на одного больного снижаются на 72% (с 2.5 млн до 704 тыс. руб.).

Отличие подходов к определению экономической эффективности доклинической диагностики болезни Паркинсона между марковской моделью и расчетной моделью общего равновесия заключается в отражении изменений динамики процесса заболевания и экономических механизмов на уровне страны в целом. В то время как марковская модель может точнее выявить различия в течении заболевания между двумя подходами к лечению, что позволяет оценить изменения затрат на одного заболевшего, статическая модель общего равновесия позволяет оценить экономические эффекты, вызванные разными подходами к лечению на уровне экономики в целом. Поэтому, так важно использовать различные виды моделей для оценки экономических эффектов – это позволяет рассмотреть изучаемый процесс под различными углами зрения, выявляя различные механизмы и ключевые параметры.

Один из возможных подходов к отражению динамики заболевания в рамках расчетной модели общего равновесия, заключается в постепенном изменении параметров выживания из рабочей силы и качества жизни. В настоящий момент эти параметры отражают два состояния системы: использование стандартного лечения или постепенный переход на доклиническую диагностику, другими словами, процесс внедрения ранней диагностики с учетом изменений в уровне участия в рабочей силе и качества жизни заболевших.

В нашем исследовании проведена оценка динамического эффекта от роста заболеваемости с 2020 по 2050 год. Используя прогноз роста заболеваемости БП в России (Гусев et al. 2021) и демографические прогнозы Росстата (до 2036 года) и ООН (до 2100 года) мы прогнозируем заболеваемость БП в России на период до 2050 года. На основании этого прогноза мы оценили кумулятивные социально-экономические эффекты от роста заболеваемости БП в ближайшие 30 лет, а также оцениваем эффективность перехода на методику ранней диагностики за этот период в терминах изменения реального ВВП и благосостояния населения (Рисунок 3).

Рисунок 3. Эффект от постепенного внедрения доклинической диагностики на реальный ВВП и благосостояние репрезентативного потребителя, в % от значений базового года



Источник: расчеты авторов

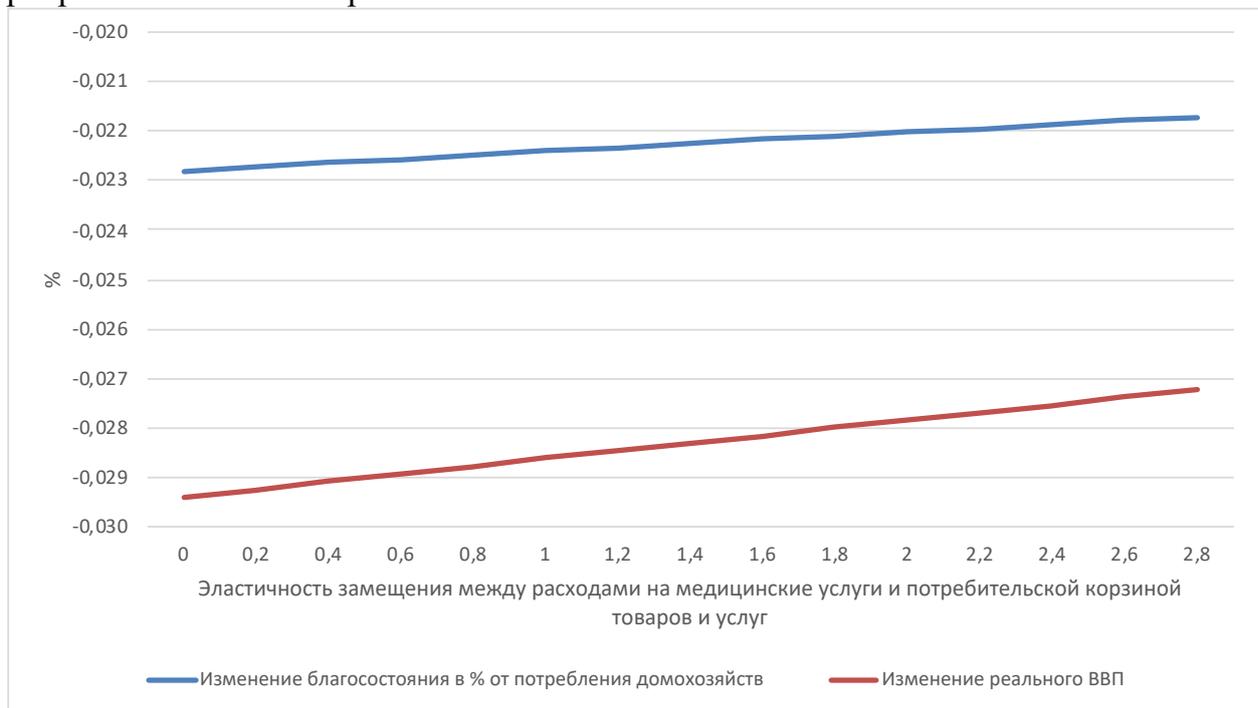
Как видно из графика (Рисунок 3) в течение переходного периода (с 2020 по 2025 гг) идет рост выигрыша от перехода на инновационный метод. После полного перехода на раннюю диагностику рост выигрыша от перехода обусловлен только ростом заболеваемости БП.

Анализ чувствительности результатов моделирования к эластичности замещения между здоровьем и потреблением

Значение эластичности замещения между здоровьем и потреблением для репрезентативного потребителя не было оценено для России. Мы приняли за рабочую версию консервативную позицию «Здоровье – дороже золота» и установили $\sigma_W = 0$. Другими словами, для потребителя нет возможности замещения между здоровьем и потреблением. В случае распространения заболеваемости БП это означает, что необходимы дополнительные расходы на медицинские услуги, что обеспечит рост уровня здоровья с поправкой на понижающий коэффициент качества жизни при более высоком уровне заболеваемости БП.

Для оценки чувствительности основных результатов нашей модели от эластичности замещения между здоровьем и потреблением мы провели серию расчетов на статической модели. В этой серии расчетов мы моделировали потери ВВП и благосостояния от БП при стандартном варианте лечения, при различных значениях эластичности замещения. Величины эластичности менялись от 0 до 2,8 (Рисунок 4). Как можно заметить, существенное изменение эластичности не привело к серьезным изменениям результатов моделирования.

Рисунок 4. Анализ чувствительности результатов оценки последствий заболеваемости БП в 2020 году при стандартной схеме лечения к эластичности замещения между здоровьем и потреблением в функции полезности репрезентативного потребителя.



Источник: расчеты авторов

5. Заключение

В данной работе была использована расчетная модель общего равновесия для оценки макроэкономических эффектов от болезни Паркинсона в условиях стандартного лечения и в случае применения ранней диагностики и последующей нейропротекторной терапии. Основными каналами влияния заболеваемости БП на экономику России являлись сокращение качества жизни и ранний выход с рынка труда. Показано, что сокращение предложения труда имеет наибольший эффект на макроэкономические показатели. Реагируя на изменение качества жизни, репрезентативный потребитель увеличивал спрос на медицинские услуги, что способствовало компенсации сокращения уровня здоровья из-за БП.

При значениях параметров, использованных в сценарных расчетах, ранняя диагностика совместно с нейропротекторной терапией в случае успешного течения лечения практически полностью нивелирует негативные эффекты БП на предложение рабочей силы. Это приводит к относительно высокому положительному эффекту от применения ранней диагностики.

Необходимо отметить, что данные расчеты чрезвычайно чувствительны к параметрам сценариев, в частности – к проценту удачных исходов досимптомной диагностики и сопутствующей нейропротекторной терапии.

Модель расчетного общего равновесия, представленную в данной статье, можно использовать для оценки других хронических и инфекционных заболеваний, в частности, с помощью предложенного нами подхода можно провести анализ социально-экономических последствий заболеваемости болезнью Альцгеймера. Также данный подход можно использовать при оценке социально-экономических последствий эпидемии COVID-19.

Список литературы

- Armington, Paul S. 1969. "A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production." Edited by I M F Workingpaper. *Staff Papers International Monetary Fund* 16 (1): 159–78. <https://doi.org/10.2307/3866403>.
- Borger, Christine, Thomas F. Rutherford, and Gregory Y. Won. 2008. "Projecting Long Term Medical Spending Growth." *Journal of Health Economics* 27 (1): 69–88. <https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2007.03.003>.
- Chen, Keyao, Guizhi Wang, Lingyan Wu, Jibo Chen, Shuai Yuan, Qi Liu, and Xiaodong Liu. 2019. "PM2.5 Pollution: Health and Economic Effect Assessment Based on a Recursive Dynamic Computable General Equilibrium Model." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16 (24). <https://doi.org/10.3390/ijerph16245102>.
- Denisova, Irina A., Tatiana V. Chubarova, Irina E. Bogatova, Sergei A. Vartanov, Valerian G. Kucheryanu, Victor M. Polterovich, Natalia A. Turdyeva, and Marina V. Shakleina. 2020. "Estimating Economic Efficiency of Preclinical Diagnostics of Parkinson Disease with Cost-Utility Approach." *Population and Economics* 4 (3): 111–27. <https://doi.org/10.3897/popecon.4.e59949>.
- Grossman, Michael. 2000. "The Human Capital Model." In *Handbook of Health Economics*, 1:347–408. Elsevier. <https://econpapers.repec.org/RePEc:eee:heachp:1-07>.
- Jensen, Henning Tarp, Marcus R. Keogh-Brown, Bhavani Shankar, Wichai Aekplakorn, Sanjay Basu, Soledad Cuevas, Alan D. Dangour, et al. 2019. "International Trade, Dietary Change, and Cardiovascular Disease Health Outcomes: Import Tariff Reform Using an Integrated Macroeconomic, Environmental and Health Modelling Framework for Thailand." *SSM - Population Health* 9 (December 2018): 100435. <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2019.100435>.
- Jensen, Henning Tarp, Marcus R. Keogh-Brown, Richard D. Smith, Zaid Chalabi, Alan D. Dangour, Mike Davies, Phil Edwards, et al. 2013. "The Importance of Health Co-Benefits in Macroeconomic Assessments of UK Greenhouse Gas Emission Reduction Strategies." *Climatic Change* 121 (2): 223–37. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0881-6>.
- Jensen, Jesper, Thomas F. Rutherford, and David G. Tarr. 2004. "The Impact of Liberalizing Barriers to Foreign Direct Investment in Services: The Case of Russian Accession to the World Trade Organization." WPS3391. *World Bank Policy Research*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Johnson, Scott, Matthew Davis, Anna Kaltenboeck, Howard Birnbaum, Eliza Beth Grubb, Marcy Tarrant, and Andrew Siderowf. 2011. "Early Retirement and Income Loss in Patients with Early and Advanced Parkinsons Disease." *Applied Health Economics and Health Policy* 9 (6): 367–76. <https://doi.org/10.2165/11596900-000000000-00000>.
- Kambou, Gerard, Shantayanan Devarajan, and Mead Over. 1992. "The Economic Impact of AIDS in an African Country: Simulations with a Computable General Equilibrium Model of Cameroon." *Journal of African Economies* 1 (1): 109–30. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jae.a036738>.
- Keogh-Brown, Marcus R., Henning Tarp Jensen, H. Michael Arrighi, and Richard D. Smith. 2016. "The Impact of Alzheimer's Disease on the Chinese Economy." *EBioMedicine* 4: 184–90. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2015.12.019>.
- Mayeres, Inge, and Denise Van Regemorter. 2008. "Modelling the Health Related Benefits of Environmental Policies and Their Feedback Effects: A CGE Analysis for the EU Countries with GEM-E3." *The Energy Journal* 29 (1): 135–50.
- Munoz, David A, Mehmet Serdar Kilinc, Harriet B Nembhard, Conrad Tucker, and Xuemei

- Huang. 2017. "Evaluating the Cost-Effectiveness of an Early Detection of Parkinson's Disease through Innovative Technology." *The Engineering Economist* 62 (2): 180–96. <https://doi.org/10.1080/0013791X.2017.1294718>.
- Paltsev, Sergey, John M. Reilly, Henry D Jacoby, Richard S Eckaus, James R Mcfarland, Marcus Sarofim, Malcolm Asadoorian, and Mustafa H. Babiker. 2005. "The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Version 4." 125. Joint Program Report Series Report. <http://globalchange.mit.edu/publication/14578>.
- Rutherford, Thomas F., and Sergey Paltsev. 1999. "From an Input-Output Table to a General Equilibrium Model : Assessing the Excess Burden of Indirect Taxes in Russia." Department of Economics, University of Colorado.
- Turdyeva, Natalia. 2020. "Effects of Terms of Trade Shocks on the Russian Economy." *Russian Journal of Money and Finance* 79 (2): 43–69. <https://doi.org/10.31477/rjmf.202002.43>.
- United Nations DESA. 2019. *World Population Prospects 2019. Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects 2019*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12283219>.
- Zhao, Ying Jiao, Hwee Lin Wee, Yiong Huak Chan, Soo Hoon Seah, Wing Lok Au, Puay Ngoh Lau, Emmanuel Camara Pica, Shu Chuen Li, Nan Luo, and Louis C.S. Tan. 2010. "Progression of Parkinson's Disease as Evaluated by Hoehn and Yahr Stage Transition Times." *Movement Disorders* 25 (6): 710–16. <https://doi.org/10.1002/mds.22875>.
- Вартанов, Сергей А, Ирина Э Богатова, Ирина А Денисова, Валериан Г Кучеряну, Наталья А Турдыева, Татьяна В Чубарова, Марина В Шаклеина, and Виктор М Полтерович. 2020. "Экономическая Эффективность Доклинической Диагностики Болезни Паркинсона: Марковская Модель." *Известия Дальневосточного Федерального Университета. Экономика и Управление*, no. 4: 129–48.
- Гусев, Е.И., В.Е. Блохин, С.А. Вартанов, М.Ю. Мартынов, Е.А. Катунина, А.В. Алесенко, И.А. Денисова, et al. 2021. "Разработка Ранней Диагностики Болезни Паркинсона и Комплексный Экономический Анализ Эффекта От Ее Внедрения." *Журнал Неврологии и Психиатрии Им. С.С.Корсакова* 1 (121): 54–65. <https://doi.org/10.17116/jnevro202112101154>.
- Раздорская, В В, О Н Воскресенская, and Г К Юдина. 2016. "Болезнь Паркинсона В России: Распространенность И Заболеваемость." *Saratov Journal of Medical Scientific Research/Saratovskii Nauchno-Meditsinskii Zhurnal* 12 (3): 379–84.
- Росстат. 2019. *Демографический Ежегодник России. Статистический Сборник*. Москва: Росстат.
- Шаклеина, Марина В., Ирина Э. Богатова, Сергей А. Вартанов, Ирина А. Денисова, Наталья А. Турдыева, Татьяна В. Чубарова, and Виктор М. Полтерович. 2020. "Социально-Экономические Детерминанты Болезни Паркинсона Для Развитых и Развивающихся Стран." *Экономика и Математические Методы* 56 (4): 53–66. <https://doi.org/10.31857/S042473880012424-5>.

Приложение.

Аналитическая структура модели

В качестве аналитической основы была использована расчетная модель общего равновесия для России, представленная в работе (Turdyeva 2020). Модель базируется на оптимизации поведения всех экономических агентов и на балансе спроса и предложения на всех рынках товаров, услуг и факторов. В исходной модели Россия представляется как малая открытая экономика, описываемая вложенными функциями с постоянной эластичностью замещения, минимизирующими издержки совершенно конкурентными производителями и неэластичным предложением факторов. В модели представлены следующие экономические агенты: домашние хозяйства, предприятия, инвестиционный сектор и государство. Конечная и промежуточная продукция дифференцируется потребителями на отечественную и импортную, т.е. действует допущение Армингтона (Armington 1969).

Экономические агенты, представленные в модели: репрезентативное домохозяйство, предприятия, государство и сберегательно-инвестиционный банк. Государство взимает прямые и косвенные налоги по фиксированным адвалорным налоговым ставкам, делает сбережения в иностранной валюте в сумме, равной внешнеторговому профициту в базовом году, затем размещает фиксированную долю налоговых поступлений в отечественном сберегательно-инвестиционном банке и осуществляет закупки товаров и услуг на внутреннем рынке.

Домашние хозяйства являются собственниками факторов производства (труда и капитала) и предприятий. Доход от труда идет напрямую репрезентативному домохозяйству, в то время как капитал отдан в управление предприятиям. Предприятия собирают доходы от капитала, платят прямые корпоративные налоги (корпоративный налог на прибыль и налог на добычу полезных ископаемых), откладывают фиксированную долю доходов от капитала после уплаты налогов и переводят остаток репрезентативному домашнему хозяйству. Принимается предположение об отсутствии у российских компаний иностранных собственников, так что все выплаты акционерам поступают отечественным домохозяйствам.

Домохозяйства платят налог с доходов физических лиц, откладывают долю дохода после уплаты налога и используют остаток на частное потребление.

Сберегательно-инвестиционный банк аккумулирует сбережения домохозяйств, предприятий и государства. Каждый экономический агент откладывает фиксированную долю своего бюджета. Сберегательно-инвестиционный банк тратит все имеющиеся у него средства на покупку товаров на конечном рынке.

Международная собственность на факторы отсутствует, т.е. модель не предусматривает ненулевые чистые факторные платежи за границу. Закрытие

базовой модели по умолчанию предполагает фиксированные сбережения государства в иностранной валюте и свободно плавающий обменный курс. Сбережения государства в иностранной валюте зафиксированы на уровне базового года, что эквивалентно профициту текущего счета платежного баланса.

Описание модели и обозначения следуют стандарту, предложенному в работе (J. Jensen, Rutherford, and Tarr 2004) и (Turdyeva 2020).

Задача репрезентативного потребителя³

Репрезентативный потребитель максимизирует CES-функцию полезности (1) при условии бюджетного ограничения (2).

$$U(C, H) = \bar{W} \left[\theta_w \left(\frac{H}{\bar{H}} \right)^{\frac{\sigma_w - 1}{\sigma_w}} + (1 - \theta_w) \left(\frac{C}{\bar{C}} \right)^{\frac{\sigma_w - 1}{\sigma_w}} \right]^{\frac{\sigma_w}{\sigma_w - 1}} \quad (4)$$

где $C = CD(c_1, \dots, c_i, \dots, c_n)$ – потребительская корзина $i=1, n$ репрезентативного потребителя, функция Кобба-Дугласа от c_i – объема потребления товара i репрезентативным потребителем, $i=1, n$;

\bar{C} – уровень потребления в базовом году;

θ_w – долевой коэффициент CES-функции;

$H = H(k_H, M)$ – уровень здоровья, зависящий от частных расходов на медицинские услуги;

\bar{H} – уровень здоровья в базовом году;

$U(C, H)$ – функция полезности репрезентативного потребителя;

\bar{W} – уровень благосостояния потребителя в базовом году;

σ_w – эластичность замещения между уровнем здоровья и потреблением;

$$H(k_H, M) = k_H * \min \left(\frac{M}{\bar{M}}; \frac{\chi_k}{\bar{\chi}_k} \right) \quad (5)$$

Где k_H – коэффициент качества жизни репрезентативного потребителя; χ_k – торговые и транспортные услуги, необходимы для поставки медицинских услуг M на рынок финального потребления домохозяйств, $k \in (\text{transport, trade})$;

Располагаемый доход репрезентативного потребителя рассчитывается с учетом эффективной ставки налогов с продаж (НДС и акцизов), t_i^c , а также фиксированных торговых и транспортных наценок на розничное потребление ($\tau_{ki} p_k$):

$$p_H H + (1 + t_i^c)(p_i c_i + \sum_k \tau_{ki} p_k) = (1 - mps^H) N \quad (6)$$

где N - доход репрезентативного домохозяйства;

³ Здесь и далее термины «репрезентативный потребитель» и «репрезентативное домохозяйство» используются взаимозаменяемо.

p_H – «стоимость» здоровья репрезентативного потребителя, другими словами – цена медицинских услуг с поправкой на коэффициент качества жизни репрезентативного потребителя;

τ_{ki} – доля надбавок (торговых, транспортных) типа k в затратах на поставку композитного товара (армингтонской смеси домашних и импортных товаров) i на рынок, $k \in (\mathbf{transport}, \mathbf{trade})$;

mps^H - предельная склонность домохозяйств к сбережению.

Доход домохозяйства состоит из заработной платы за вычетом прямых налогов, и перечислений капитальной ренты корпоративным сектором:

$$N = w(k_{LS}L) - T_{LS} + Tr_E \quad (7)$$

где w – заработная плата;

L – предложение труда;

k_{LS} - экзогенный коэффициент выбытия из рынка труда (управляющее воздействие с сценарных расчетах);

T_{LS} . – налоги на труд;

Tr_E – трансферт от корпоративного сектора (предприятий).

Уровень здоровья

$$H(k_H, M,) = k_H * \min\left(\frac{M}{\bar{M}}; \frac{\chi_k}{\bar{\chi}_k}\right) \quad (8)$$

Где k_H – коэффициент качества жизни репрезентативного потребителя; χ_k – торговые и транспортные услуги, необходимы для поставки медицинских услуг M на рынок финального потребления домохозяйств, $k \in (\mathbf{transport}, \mathbf{trade})$;

Предприятия

Предложение

В модели сделано предположение, что предприятия владеют мобильным и специфическим капиталом. Предприятия собирают ренту, выплачивают прямые налоги (T_D), сберегают часть располагаемого дохода (mps^E) и перечисляют все остальное домохозяйствам (Tr_E), поскольку репрезентативный потребитель владеет предприятиями.

$$Tr_E = (1 - mps^E)(r_K K + \sum r_i^S K_i^S - T_D) \quad (9)$$

где w – заработная плата;

r_K - рента на мобильный капитал;

K – предложение мобильного капитала;

r_i^S – специфический капитал;

K_i^S - запас специфического капитала в отрасли i ,

T_D – сборы прямых налогов с предприятий.

Бюджет государства

Расходы государственного бюджета состоят из закупок, фиксированных в реальном выражении на уровне базового года (\bar{G}_i), и сбережений в валюте,

фиксированных на уровне профицита счета текущих операций в базовом году (\bar{V}). Излишек средств сберегается (GS).

Доходная часть бюджета состоит из налоговых сборов. Государство собирает прямые и косвенные налоги: налог с оборота (налог на производство по ставке t_i^y), налоги на промежуточные товары (t_{ij}^a), на потребление государства (t_i^g), на инвестиционный спрос (t_i^I), на экспорт (t_i^X), на спрос домохозяйств (t_i^C).

Уравнение бюджета государства (5):

$\sum_i (1 + t_i^g) p_i \bar{G}_i + \rho \bar{V} + GS$ $= (T_Y + T_a + T_G + T_I + T_X + T_C + T_{FS} + T_{LS} + T_D)$	(10)
--	------

Где

ρ – обменный курс;

T_k – поступления от налога k ;

T_{FS} – поступления от налогов на специфические факторы производства;

T_{LS} – поступления от налога на труд;

T_D – поступления от прямых налогов.

Предложение на внутреннем и экспортном рынках

Товары и услуги отечественного производства поставляются на внутренний и международный рынки. Функция с постоянной эластичностью трансформации (СЕТ) описывает возможности трансформации между внутренними (d_i) и экспортными (e_i) поставками отечественной продукции (Y_i).

Доли продаж в стране и за рубежом определяются относительными ценами, при условии, что фирмы производят конечные товары с целью минимизации затрат для заданной производственной функции:

$Y_i = \bar{Y}_i \left[\theta_D \left(\frac{d_i}{\bar{D}_i} \right)^{\frac{1+\eta}{\eta}} + (1 - \theta_D) \left(\frac{e_i}{\bar{E}_i} \right)^{\frac{1+\eta}{\eta}} \right]^{\frac{\eta}{1+\eta}}$	(11)
--	------

Где: \bar{D}_i - объем продукции товара i для внутреннего рынка в базовом году, где $i = 1, n$

\bar{E}_i - экспорт товара i в базовом году, где $i = 1, n$,

\bar{Y}_i - выпуск отечественного товара i в базовом году, где $i = 1, n$

θ_D – долевой параметр функции СЕТ, откалиброванный для внутренних продаж в общем объеме продаж базового года,

η – эластичность трансформации между поставками на внутренний и экспортный рынки.

Издержки производства товара для внутреннего и экспортного рынков с производственной функцией с постоянной эластичностью трансформации

обозначим $COST^Y(p_i, w, r_K, r_i^S)$. Выручку, после уплаты налогов с оборота, от реализации продукции на домашнем и экспортных рынках обозначим через $CET(p_i^D, p_i^X)$.

Технология производства описывается вложенной производственной функцией Леонтьева: выпуск зависит от объема потребления промежуточных товаров, a_{mi} , (где $m = 1, n$) и факторов производства, мобильного труда L_i и капитала K_i , а также специфического капитала K_i^S и труда L_i^S .

Производители предъявляют спрос на промежуточные товары и факторы производства, исходя из задачи минимизации производственных затрат для выпуска данного объема продукции при технологическом ограничении, описываемым производственной функцией:

$$Y_i = \bar{Y}_i \min [a_{mi}, VA_i(L_i, K_i, K_i^S, L_i^S)] \quad (12)$$

где $a_{mi} = (a_{i1}^m, a_{i2}^m, \dots)$ – спрос на *промежуточные товары* в производстве товара i .

a_{ij} - композитный товар (смесь отечественных и импортных товаров);

$VA_i(L_i, K_i, K_i^S, L_i^S)$ – добавленная стоимость, определяется как смесь факторов производства согласно функции Кобба-Дугласа.

Платежный баланс

Баланс текущего счета, т.е. разница между стоимостью экспорта и импорта в мировой валюте, зафиксирован на уровне базового года.

Увеличение (уменьшение) импорта должно быть компенсировано соответствующим сокращением (увеличением) экспорта при сохранении фиксированного профицита счета текущих операций на уровне базового года (\bar{V}):

$$\sum \bar{p}_i^X e_i = \sum \bar{p}_i^M m_i + \bar{V} \perp \rho \quad (13)$$

\bar{p}_i^X – exogenous world export prices;

e_i – volume of exports (in real terms);

\bar{p}_i^M – exogenous world prices for imported goods;

m_i – volume of imports (in real terms).

В работе Ларса Матисена (Mathiesen 1985) показано, что равновесие Эрроу-Дебре можно сформулировать и решить как последовательность комплементарных задач (complementary problems), в которых условия арбитража и рыночного равновесия представлены в формате дополнительной нежесткости.

Уравнение платежного баланса (13) можно рассматривать уравнение рыночного равновесия, в этом случае обменный курс будет являться двойственной переменной (ρ) в комплементарной задаче.

Условия арбитража

Решение о выпуске домашнего и экспортного товаров

Производитель будет выпускать товар i , если выполнено уравнение (14): выручка от предложения товара i на внутреннем и экспортном рынках $CET(p_i^D, p_i^X)$ равна издержкам на производство продукции $COST^Y(p_i, w, r_K, r_i^S, w_i^S)$.

p_i - цена композитного товара Армингтона, состоящего из отечественных и импортных товаров, i на рынке финального потребления (т.е. товары и услуги для потребления домашними хозяйствами, правительством и инвестиционным сектором), где $i = 1, n$;

w - заработная плата;

r_K - рента мобильного капитала;

r_i^S - рента специфического капитала;

w_i^S - зарплата специфического капитала;

Первичные факторы производства и промежуточные товары связаны между собой вложенной производственной функцией с постоянной эластичностью замещения (CES).

$Y_i \cdot CET^Y(p_i^D, p_i^X) = COSTS^Y(p_i, w, r_K, r_i^S, w_i^S)$	(14)
--	------

где p_i^D – цена отечественного товара i для внутреннего рынка;

p_i^X – внутренняя цена товара для экспортного рынка.

Решение о производстве композитного товара для домашнего рынка

Производитель композитного товара для домашнего рынка сможет выпускать товар, другими словами, количество a_i будет больше нуля, только в том случае, если цена за единицу продукции (p_i) будет покрывать издержки производства $CES^A(p_i^D, p_i^M)$ (15). В издержки производства единицы композитного товара входят: издержки смешивания отечественных (p_i^D) и импортных товаров (p_i^M), включая транспортные и торговые наценки (p_k), необходимые для реализации товара на рынке финальной продукции.

$a_i \cdot p_i = CES^A(p_i^D, p_i^M) + \sum_k \tau_{ki} p_k$	(15)
--	------

где τ_{ki} - доля надбавок типа k в затратах на поставку композитного товара i на рынок (отличается для каждого отдельного рынка: для рынка финального потребления домохозяйств, государства, инвестиционного сектора, и промежуточных товаров).

Решение об экспорте

e_i Внутренняя цена экспорта равна экзогенной (FOB) цене на мировых рынках (выраженной в мировой валюте) (\bar{p}_i^X), умноженной на обменный курс (ρ):

$e_i \cdot p_i^X = \bar{p}_i^X \cdot \rho$	(16)
--	------

Решение об экспорте

⊥ m_i Внутренняя цена импорта равна экзогенной (FOB) цене на мировых рынках (выраженной в мировой валюте) (\bar{p}_i^M), умноженной на обменный курс (ρ):

$m_i \perp p_i^M = \bar{p}_i^M \cdot \rho$	(17)
--	------

Условие свободного выхода на рынок гарантирует, что прибыль всех фирм будет равна нулю. Следовательно, выручка для каждой отрасли будет равна сумме издержек производства.

Условия равновесия на рынках

⊥ p_i Рынки товаров и услуг: совокупное предложение равно совокупному спросу на каждом рынке:

$a_i = c_i + a_i^I + a_i^G + \sum a_{ij}^Y \perp p_i,$ $a_{ij}^Y = Y_i \cdot \frac{\partial COST_i^Y}{\partial p_j}$	(18)
--	------

Где $a_i^G = \bar{G}_i$ – в силу предположения, что государство закупает товары и услуги в объеме базового года.

⊥ p_i^D Внутренние рынки: предложение отечественных товаров для внутреннего рынка равно спросу на отечественные товары и услуги на всех рынках:

$d_i = a_i \frac{\partial CES^A(p_i^D, p_i^M)}{\partial p_i^D} \perp p_i^D$	(19)
---	------

⊥ p_i^M Рынки импортных товаров: весь импорт идет на создание товаров для финального рынка и на товары для промежуточного производства:

$m_i = a_i \frac{\partial CES^A(p_i^D, p_i^M)}{\partial p_i^M} \perp p_i^M$	(20)
---	------

⊥ w_ℓ Предложение труда равно спросу на труд:

$(k_{LS\bar{L}}) = \sum_i y_i \frac{\partial COST_i^Y}{\partial w_\ell} \perp w_\ell$	(21)
---	------

Где $(k_{LS\bar{L}})$ – запас труда, зафиксированный на уровне базового года с поправочным коэффициентом, отражающим ранее выбытие из рынка труда из-за болезни Паркинсона;

⊥ r_K Предложение капитала равно спросу:

$\bar{K} = \sum_i y_i \frac{\partial COST_i^Y}{\partial r_K} \perp r_K$	(22)
---	------

Где \bar{K} – совокупное предложение капитала (в основной формулировке модели);

Обозначения

Таблица 5. Обозначения переменных и параметров модели

	Обозначение	Определение
1	\bar{D}_i	объем продукции товара i для внутреннего рынка в базовом году, где $i = 1, n$
2	\bar{E}_i	экспорт товара i в базовом году, где $i = 1, n$
3	\bar{G}_i	государственный спрос в базовом году
4	\bar{I}_i	инвестиционный спрос в базовом году
5	\bar{p}_i^M	экзогенные мировые цены на импортные товары
6	\bar{p}_i^X	экзогенные мировые цены на экспортные товары
7	\bar{Y}_i	домашний выпуск товара i в базовом году, где $i = 1, n$
8	a_i^G	государственное потребление товара i
9	a_i	композиционный Армингтоновский товар (смесь отечественного и импортного товаров) для промежуточного и финального потребления
10	a_{ij}^Y	спрос предприятий на композиционный товар для промежуточного потребления
11	c_i	спрос на товар i со стороны потребителя, $i = 1, n$
12	$COST^Y(p_i, w, r_K, r_i^S, w_i^S)$	издержки домашнего производства
13	d_i	поставки товара i для внутреннего рынка, где $i = 1, n$
14	e_i	экспорт товара i , где $i = 1, n$
15	K_i^S	запас специфического фактора в отрасли i
16	L_i^S	запас специфического фактора в отрасли i
17	\bar{K}	предложение мобильного капитала
18	\bar{L}	предложение труда
19	m_i	объем импорта (в натуральном выражении)
20	mps^E	Предельная склонность предприятий к сбережению
21	GS	Государственные сбережения
22	mps^H	Предельная склонность домохозяйств к сбережению
23	p^G	индекс цен на государственные закупки
24	p_i^D	цена отечественного товара i для внутреннего рынка

	Обозначение	Определение
25	p_i^M	внутренняя цена импорта
26	p_i^X	внутренняя цена товара для экспортного рынка
27	p_i	цена товара (композитного товара Армингтона из отечественных и импортных товаров) i на рынке финального потребления (конечные товары и услуги потребляются домашними хозяйствами, правительством и инвестиционным сектором), где $i = 1, n$
28	p_k	Цена услуги k , используемая для поставки товаров на рынки (транспортные или торговые услуги)
29	r_K	капитальная рента мобильного капитала
30	T_a	сборы налога на промежуточное потребление t_{ij}^a
31	T_c	сборы налога на потребление домашних хозяйств t_i^c
32	T_D	сборы прямых налогов с предприятий
33	T_{FS}	сборы налога на специфические факторы производства
34	T_G	сборы налога на государственные закупки t_i^G
35	t_i^G	эффективная ставка налога с продаж для государственных закупок
36	t_i^C	эффективная ставка налогов с продаж (НДС, акцизы) для домохозяйств, на товар i , где $i = 1, n$
37	T_I	сборы налога на инвестиционный спрос t_i^I
38	T_{LS}	прямые налоги
39	T_X	сборы налога на экспорт t_i^X
40	T_Y	сборы налога на производство t_i^Y
41	Tr_E	Трансферт от предприятий домашним хозяйствам
42	\bar{V}	фиксированный профицит торгового баланса на уровне базового года a
43	Y_i	выпуск товара i , где $i = 1, n$
44	θ_D	долевой параметр функции СЕТ, откалиброванный для внутренних продаж в общем объеме продаж базового года
45	θ_i	Коэффициент экспоненты функции Кобба-Дугласа, равный доле затрат на товар i в общей стоимости потребления корзины C ;

	Обозначение	Определение
46	σ^A	Эластичность замещения между отечественными и импортными товарами в функции агрегирования Армингтона товаров для розничного рынка
47	σ^{VA}	эластичность замещения между различными факторами производства в добавленной стоимости
48	σ^Y	эластичность замещения между добавленной стоимостью и промежуточными товарами в производственной функции
49	τ_{ki}	доля надбавок типа k в затратах на поставку армингтонской смеси товаров i на рынок
50	$C = (c_1, \dots, c_n)$	потребительская корзина i = 1, n репрезентативного домохозяйства;
51	$CES^A(p_i^D, p_i^M)$	издержки производства армингтонской смеси отечественных и импортных товаров для конечного (бытового, государственного и инвестиционного потребления) и промежуточного рынков
52	$CET (p_i^D, p_i^X)$	выручка от производства товара для внутреннего рынка и экспортного рынка с производственной функцией с постоянной эластичностью трансформации (CET)
53	N	доход репрезентативного домохозяйства
54	$U(C)$	функция полезности репрезентативного домохозяйства
55	VA_i	$VA_i(L_i, K_i, K_i^S)$ – добавленная стоимость, смесь Кобба-Дугласа факторов производства
56	w	заработная плата мобильного труда
57	η	эластичность трансформации между поставками на внутренний и экспортный рынки
58	ρ	обменный курс (в единицах домашней валюты к единице иностранной валюты)
59	h	уровень здоровья, зависящий от частных расходов на медицинские услуги
60	k_H	экзогенный коэффициент заболеваемости (управляющее воздействие с сценарных расчетах)
61	m	расходы домашних хозяйств на медицинские услуги

	Обозначение	Определение
62	mrg_k	торговые и транспортные наценки на медицинские услуги, где k принимает значения $k \in (transport, trade)$;
63	k_{LS}	экзогенный коэффициент выбытия из рынка труда (управляющее воздействие с сценарных расчетах)

Источник: авторы

Таблица 6. Прогноз числа больных БП и прогноз распространенности БП в России

Год	Прогноз числа больных БП, чел	Демографический прогноз	Прогноз распространенности БП, % от населения России
2020	280 771	146 796 500	0,00191
2021	283 985	146 757 800	0,00194
2022	287 235	146 675 300	0,00196
2023	290 522	146 579 600	0,00198
2024	293 847	146 473 900	0,00201
2025	297 211	146 360 700	0,00203
2026	300 612	146 227 500	0,00206
2027	304 053	146 069 100	0,00208
2028	307 533	145 893 000	0,00211
2029	311 052	145 699 200	0,00213
2030	314 612	145 492 900	0,00216
2031	318 213	145 275 300	0,00219
2032	321 855	145 038 100	0,00222
2033	325 539	144 786 400	0,00225
2034	329 264	144 529 500	0,00228
2035	333 033	144 270 400	0,00231
2036	336 844	144 010 800	0,00234
2037	340 700	143 566 700	0,00237
2038	344 599	143 133 836	0,00241
2039	348 543	142 714 798	0,00244
2040	352 532	142 311 480	0,00248
2041	356 567	141 925 318	0,00251
2042	360 647	141 556 524	0,00255
2043	364 775	141 203 822	0,00258
2044	368 950	140 864 999	0,00262
2045	373 173	140 537 958	0,00266

Год	Прогноз числа больных БП, чел	Демографический прогноз	Прогноз распространенности БП, % от населения России
2046	377 444	140 222 072	0,00269
2047	381 763	139 916 455	0,00273
2048	386 133	139 618 114	0,00277
2049	390 552	139 323 367	0,00280
2050	395 022	139 029 142	0,00284
2051	399 543	138 734 062	0,00288
2052	404 116	138 437 190	0,00292
2053	408 741	138 136 453	0,00296
2054	413 419	137 829 688	0,00300
2055	418 150	137 515 319	0,00304
2056	422 936	137 192 658	0,00308
2057	427 777	136 861 683	0,00313
2058	432 672	136 522 588	0,00317
2059	437 624	136 175 922	0,00321
2060	442 633	135 822 533	0,00326
2061	447 699	135 462 978	0,00330
2062	452 823	135 098 417	0,00335
2063	458 005	134 730 992	0,00340
2064	463 247	134 363 422	0,00345
2065	468 549	133 998 271	0,00350
2066	473 912	133 636 941	0,00355
2067	479 336	133 281 095	0,00360
2068	484 822	132 933 823	0,00365
2069	490 370	132 598 659	0,00370
2070	495 983	132 278 534	0,00375
2071	501 659	131 974 996	0,00380
2072	507 401	131 688 998	0,00385
2073	513 208	131 422 136	0,00391
2074	519 081	131 175 821	0,00396
2075	525 022	130 951 073	0,00401
2076	531 031	130 748 428	0,00406
2077	537 109	130 567 838	0,00411
2078	543 256	130 408 684	0,00417
2079	549 474	130 269 863	0,00422
2080	555 762	130 150 217	0,00427
2081	562 123	130 048 899	0,00432
2082	568 557	129 964 866	0,00437
2083	575 064	129 896 329	0,00443

Год	Прогноз числа больных БП, чел	Демографический прогноз	Прогноз распространенности БП, % от населения России
2084	581 645	129 841 177	0,00448
2085	588 302	129 797 252	0,00453
2086	595 035	129 763 202	0,00459
2087	601 846	129 737 254	0,00464
2088	608 734	129 716 418	0,00469
2089	615 701	129 697 270	0,00475
2090	622 747	129 676 905	0,00480
2091	629 875	129 653 247	0,00486
2092	637 084	129 625 019	0,00491
2093	644 375	129 591 323	0,00497
2094	651 750	129 551 479	0,00503
2095	659 209	129 504 659	0,00509
2096	666 754	129 449 802	0,00515
2097	674 385	129 385 582	0,00521
2098	682 103	129 310 341	0,00527
2099	689 910	129 222 172	0,00534
2100	697 806	129 118 872	0,00540

Источник: Росстат, UN DESA, расчеты авторов