

Д.В. Колюжнов, А.С. Богомолова

ОБЗОР ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБЩЕГО РАВНОВЕСИЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ И НА НАЦИОНАЛЬНУЮ ЭКОНОМИКУ

Введение

Целью данного исследования является подготовка к написанию (замкнутой) макроэкономической модели общего экономического равновесия (предпочтительнее класса DSGE), которая бы учитывала одновременно загрязнение окружающей среды, здоровье и динамику макроэкономических показателей. До подготовки данного обзора авторам не были известны примеры написания подобного рода моделей, которые бы учитывали взаимодействие названных трех факторов – уровня загрязнения, здоровья, экономического развития – и политику в области охраны окружающей среды и охраны здоровья.

Эта работа является третьей в ряду наших обзоров современных макроэкономических моделей. В первой работе [1] мы даем обзор динамических стохастических моделей общего экономического равновесия и методов их оценивания, во второй работе [2] мы рассматриваем четыре неоклассические DSGE модели с включенным в рассмотрение загрязнением окружающей среды и политикой по борьбе с ним. И наконец, в текущей работе для ответа на вопрос о том, как включить в модель показатель здоровья, используя микроэкономические основания, мы детально рассматриваем микроэкономическую модель Гроссмана (1972) [3] и макроэкономические OLG модели влияния здоровья на рост, и среди них модели с одновременным включени-

ем показателей здоровья и загрязнения. Мы рассматриваем модель, построенную Лауном в своей PhD диссертации [4], в которой в неоклассическую DSGE модель включается показатель здоровья, и демонстрируем пример того, как можно включить в одну из рассмотренных выше DSGE моделей с загрязнением эндогенный фактор здоровья.

Практическая значимость полученных результатов состоит в системном изложении способов моделирования эндогенных здоровья и загрязнения окружающей среды в рамках DSGE и OLG моделей¹ и в выделении 6 перспективных и неиспользованных никем ранее направлений построения модели общего равновесия с эндогенными здоровьем и загрязнением.

1. Микроэкономическая модель Гроссмана формирования спроса на здоровье

Подход Гроссмана [3] к спросу на здоровье в большинстве литературы по экономике здоровья называется моделью человеческого капитала, поскольку он сильно опирается на теорию человеческого капитала [8, 9, 10, 11]. Хотя [8, 12, 13] указывали на то, что капитал здоровья является одной из компонентов запаса человеческого капитала, Гроссман был первым, кто построил модель спроса собственно на сам капитал здоровья. Если бы рост уровня запаса здоровья просто увеличивал ставки заработной платы, разработки Гроссмана были бы не нужны, поскольку можно было бы просто использовать модели [8] и [10] для изучения вопроса о решениях инвестирования в здоровье. Гроссман, однако, утверждал, что капитал здоровья отличается от других форм человеческого капитала. В частности, он утверждал, что в то время как запас знаний индивидуума влияет на его рыночную и нерыночную производительность, запас его здоровья определяет общее количество времени, которое индивидуум может потратить, производя денежные доходы и товары.

¹ Мы не рассматриваем в этом кратком обзоре эмпирические исследования и регрессионные модели, посвященные взаимодействию загрязнения окружающей среды, здоровья населения и/или макроэкономической динамики, такие как [5, 6, 7]. Данные работы требуют отдельного обзора.

Формально идеи Гроссмана записываются им [14] следующим образом. Межвременная функция полезности типичного потребителя есть $U = U(\phi_t H_t, Z_t)$, $t = 0, 1, \dots, n$, где H_t есть запас здоровья в возрасте t или в период t , ϕ_t есть поток «услуг здоровья» на единицу запаса, $h_t = \phi_t H_t$ есть общее потребление «услуг здоровья», Z_t есть потребление другого продукта.

Запас здоровья в начальный период (H_0) задан, но запас здоровья в любом другом возрасте является эндогенным. Продолжительность жизни как планируемая величина (n) также является эндогенной. В частности, смерть наступает, когда $H_t \leq H_{\min}$. Следовательно, продолжительность жизни определяется объемами капитала здоровья, которые максимизируют функцию полезности на производственном и ресурсном ограничениях.

По определению чистые инвестиции в запас капитала равны валовым инвестициям за вычетом выбытия:

$$H_{t+1} - H_t = I_t - \delta_t H_t,$$

где I_t есть валовые инвестиции, а $0 < \delta_t < 1$ есть темп выбытия в периоде t .

Темпы выбытия являются экзогенными, но зависят от возраста. Потребители производят валовые инвестиции в здоровье и другие продукты, входящие в функцию полезности, согласно функциям домашнего производства:

$$I_t = I_t(M_t, TH_t; E),$$

$$Z_t = Z_t(X_t, T_t; E).$$

В этих уравнениях M_t есть вектор факторов (товаров), приобретенных на рынке, которые увеличивают валовые инвестиции в здоровье, X_t – аналогичный вектор факторов (товаров), приобретенных на рынке, которые увеличивают производство Z_t , TH_t и T_t есть затраты времени, а E есть запас знаний или человеческого капитала потребителя, за исключением капитала здоровья. Этот запас предполагается экзогенным или предопределенным.

Ограничениями модели являются межвременное бюджетное ограничение

$$\sum_{t=0}^n \frac{P_t M_t + Q_t X_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{W_t T W_t}{(1+r)^t} + A_0,$$

где P_t и Q_t — цены M_t и X_t , W_t — часовая ставка заработной платы, $T W_t$ — часы работы, A_0 — начальные активы, r — рыночная ставка процента, и ограничение по времени $T W_t + T H_t + T_t + T L_t = \Omega$, где Ω — общее количество времени, доступное каждый период, $T L_t$ — время, потерянное для рыночной и нерыночной деятельности из-за болезни и травмы.

Гроссман предполагает, что время болезни обратно зависит от запаса здоровья, то есть, что $\partial T L_t / \partial H_t < 0$. Если Ω измеряется в часах, а ϕ_t определяется как поток «здорового времени» на единицу H_t , то h_t — общее количество «здоровых часов» в данном году: $T L_t = \Omega - h_t$.

2. Здоровье и экономический рост

Важность здоровья для экономического роста и развития широко признана. Большинство исследований, однако, рассматривают здоровье как экзогенную переменную, а не то, на что индивидуум может сам влиять. Оправданием для немоделирования здоровья в явном виде является следующее: если здоровье эндогенно, то оно может рассматриваться как часть человеческого капитала. Однако здоровье больше, чем просто часть человеческого капитала. Кроме влияния на предложение труда и производительность, здоровье влияет на вероятности выживания, а также оказывает прямое влияние на уровень полезности. Последнее действует через эффективный коэффициент дисконтирования, который влияет на привлекательность сбережений.

Микроэкономическая модель Гроссмана с понятием здоровья как инвестиционного товара, так и потребительского товара послужила источником большого числа работ, в числе которых [15] и [16].

В макроэкономической литературе первой, признавшей важность рассмотрения здоровья в анализе человеческого капитала, была работа [17]. Впоследствии Фогел [18] и Барро [19] исследовали связь между здоровьем и экономическим ростом. Это развитие дало толчок большому числу эмпирических работ, в которых различные измерители здоровья использовались для оценки влияния здоровья на экономический рост и экономическое развитие. Основным результатом этих работ в том, что здоровье в общем случае оказывает положительное влияние на рост.

Существует лишь небольшое количество работ, рассматривающих здоровье в качестве эндогенного фактора. Чакраборти [20] предполагает, что показатель здоровья как ожидаемая продолжительность жизни, моделируемый эндогенно как вероятность выживания индивидуумов из первого во второй период в *двухпериодной модели перекрывающихся поколений в дискретном времени*, является возрастающей функцией от общественных затрат на здоровье. В этой модели возможно возникновение ловушки бедности, в которой низкие затраты на здоровье и, соответственно, высокая смертность приводят к низкой норме сбережения, что в свою очередь подразумевает низкие доходы от сбора налогов и, следовательно, низкие затраты на здоровье.

Моделирование здоровья в модели происходит следующим образом. Молодые агенты рождаются каждый момент времени с единицей запаса времени, которую они неэластично предлагают на рынке труда, получая заработную плату w .

Вероятность выживания молодого индивидуума, рожденного в t , ϕ_t , зависит от его капитала здоровья h_t , и задается неубывающей вогнутой функцией $\phi_t = \phi(h_t)$, удовлетворяющей условиям $\phi(0) = 0$, $\lim_{h \rightarrow \infty} \phi(h) = \beta \leq 1$ и $\lim_{h \rightarrow 0} \phi'(h) = \gamma < \infty$. Поскольку ожидаемое время жизни новорожденного равно $1 + \phi$ периодов, то термины «ожидаемая продолжительность жизни», «длина жизни» и «вероятность жизни» используются как взаимозаменяемые. Одним из примеров функции, удовлетворяющей этим свойствам, является $\phi(h) = \beta h / (1 + h)$ при $\gamma = \beta$.

Общественные затраты на здоровье периода t финансируются посредством пропорционального налога $\tau_t \in (0,1)$ на трудовой доход таким образом, что инвестиции в здоровье молодого индивидуума равны $\tau_t w_t$. Такие инвестиции увеличивают частный капитал здоровья посредством технологии с постоянной отдачей от масштаба $h_t = g(\tau_t w_t) = \tau_t w_t$.

Индивидуум, рожденный в t , максимизирует свою ожидаемую функцию полезности $U_t = \ln c_t' + \phi_t \ln c_{t+1}'$ на ограничениях $c_t' \leq (1 - \tau_t)w_t - z_t$, $c_{t+1}' \leq (1 + \widehat{R}_{t+1})z_t$, где $1 + \widehat{R}_{t+1} = (1 + R_{t+1})/\varphi_t$, R_t есть предельный продукт капитала в экономике за вычетом нормы выбытия капитала, z_t есть сбережения в молодости. В качестве производственной функции в модели берется функция Кобба–Дугласа.

Статья [20] оказала большое влияние на дальнейшие исследования, ее использовали для ответа на другие вопросы, и на основе модели [20] написан ряд расширений. Так, например, работа [21] использует модель [20] для поиска оптимального правила накопления.

Работа [22] расширяет модель [20], добавляя в нее частные и государственные вложения в образование и человеческий капитал, рассматривает более общий вид функций инвестиций в человеческий капитал и капитал здоровья и производственную функцию как функцию Кобба–Дугласа от двух факторов: физического капитала и человеческого капитала (эффективного труда).

Формально их модель описывается следующим образом. Это модель перекрывающихся поколений в дискретном времени, в которой индивидуумы живут потенциально три периода: детство, молодость и старость. Дети ходят в школу и накапливают человеческий капитал, оставаясь экономически неактивными до периода молодости. Длительность жизни индивидуума не определена. Индивидуум выживает в течение первых двух периодов с вероятностью 1, но вероятность того, что молодой потребитель доживет до старости, зависит от положительной вероятности ϕ , которая зависит от его собственного накопленного запаса здоро-

вья. Индивидуум рождает единственного потомка и принимает решения относительно сбережений, расходов на образование ребенка до того, как происходит реализация шока смертности в конце периода его молодости. Если индивидуум доживает до старости, он получает «удовлетворение» от достижений своего потомка в области образования, которое можно рассматривать как удовольствие, получаемое от улучшенного социального статуса его наследника.

Ожидаемая функция полезности молодого родителя есть $U_t = \ln c_t + \phi_{t+1} [\ln c_{t+1} + \beta \ln h_{t+1}]$, где c_t и c_{t+1} — уровни текущего и будущего потребления, соответственно, ϕ_{t+1} — вероятность выживания до старости, h_{t+1} — запас человеческого капитала ребенка, β — представляет вес, который родитель присваивает полезности, получаемой из человеческого капитала своего ребенка.

Эта функция максимизируется на периодных бюджетных ограничениях $c_t \leq (1 - \tau) w_t h_t - s_t - e_t$ — трудовой доход после налогообложения молодого индивидуума, $(1 - \tau) w_t h_t$, $0 \leq \tau \leq 1$, тратится на потребление первого периода, c_t , сбережения, s_t , и образование ребенка, e_t . Поскольку в старости нет трудовых доходов, все индивидуумы сберегают с целью финансировать физический капитал в старости, то есть $s_t = k_{t+1}$, $c_{t+1} \leq (1 + \widehat{R}_{t+1}) s_t$, где $1 + \widehat{R}_{t+1} = (1 + R_{t+1}) / \phi_{t+1}$, R_t — предельный продукт физического капитала в экономике за вычетом нормы выбытия капитала.

Правительство финансирует как общественное здравоохранение, так и общественное образование. Бюджетное ограничение правительства предполагается сбалансированным в каждом периоде: *Общие доходы* = $\tau w_t h_t = \gamma_h \tau w_t h_t + (1 - \gamma_h) \tau w_t h_t =$ *Общие расходы*, где γ_h и $1 - \gamma_h$ — фиксированные доли от налоговых доходов, затрачиваемые на человеческий капитал и здоровье, соответственно. *Общественные расходы на здоровье*,

$g_t^x = (1 - \gamma_h) \tau w_t h_t$, и на образование, $g_t^h = \gamma_h \tau w_t h_t$, в этой модели являются совершенными заменителями с точки зрения бюджета правительства.

Производство задано производственной функцией Кобба–Дугласа от двух факторов: физического капитала и человеческого капитала (эффективного труда) $y_t = A k_t^\alpha (h_t)^{1-\alpha}$ $\alpha \in (0,1)$, при этом предполагается полное выбытие капитала за один период.

Здоровье в модели моделируется во многом аналогично [20] как *вероятность выживания* индивидуума в начале третьего периода, ϕ_{t+1} , которая зависит от запаса капитала здоровья индивидуума, x_{t+1} , в этот момент времени, и задается неубывающей вогнутой функцией $\phi_{t+1} = \phi(x_{t+1})$, удовлетворяющей условиям $\phi(0) = 0$, $\lim_{x \rightarrow \infty} \phi(x) = 1$.

Чтобы выделить влияние продолжительности жизни на рост, вызываемый инвестированием в человеческий капитал, в модели предполагается, что запас здоровья индивидуума влияет только на его вероятность выживания до периода старости, и не влияет на его производительность в молодости. Также предполагается, что запас здоровья индивидуума не зависит от его прямых частных затрат на здоровье, а зависит от уровня общественных расходов на здоровье. А именно, запас здоровья молодого индивидуума в конце его молодости, x_{t+1} , положительно зависит от его собственного запаса здоровья в юном возрасте, x_t , и от государственных инвестиций в здоровье, g_t^x , как доли от общего запаса физического капитала, k_t : $x_{t+1} = M(x_t)^{1-\psi} (g_t^x / k_t)^\psi - \delta_x x_t$, где M представляет производительность производства здоровья, $\delta_x \in (0,1)$ – коэффициент износа капитала здоровья, $1-\psi$ измеряет степень, с которой его индивидуальное исходное состояние здоровья, влияет на его окончательный уровень здоровья, ψ измеряет силу эффективности общественной системы здравоохранения на будущее здоровье молодых.

Запас человеческого капитала молодого индивидуума из поколения t , в период $t+1$ зависит от трех факторов. Во-первых, он зависит от запаса человеческого капитала его родителя, h_t . Это предположение описывает передачу знания между родителями и их детьми. Во-вторых, он зависит от уровня расходов на образование, осуществленных его родителем в периоде t , e_t . Наконец, h_{t+1} зависит от уровня государственных инвестиций в общественное образование в прошлом периоде, g_t^h . В отличие от здоровья, образование финансируется как частными индивидуумами, так и правительством, и оба вида финансирования является заменителями. Эволюция человеческого капитала представлена следующим образом: $h_{t+1} = B(h_t)^{1-\theta} (\mu e_t + \nu g_t^h)^\theta$, $B > 0$, $\theta \in (0,1)$, $\mu, \nu > 0$, где B есть параметр, измеряющий производительность процесса накопления человеческого капитала. Частные и общественные расходы имеют веса μ и ν , соответственно, характеризующие относительную силу систем частного и общественного образования. Параметр θ обозначает эластичность реальных инвестиций в образование (частных и общественных), а $1 - \theta$ показывает степень передачи человеческого капитала между поколениями. Поскольку человеческий капитал не является необходимым в старости (старые индивидуумы не работают), индивидуумы не заботятся о своем собственном человеческом капитале, а вместо этого инвестируют в образование своего ребенка.

3. OLG модели, в которых здоровье увязывается с загрязнением окружающей среды и экономическим ростом

В современной экономической литературе также существуют работы, представляющие модели экономического роста с OLG структурой и одновременным определением эндогенных факторов загрязнения и здоровья. Так, модель в работе [23] основана на модели [20]. Модель [20] расширена авторами путем включения в рассмотрение загрязнения как дополнительного

фактора продолжительности жизни. В этой дискретной двух-периодной OLG модели продолжительность жизни, уровень загрязнения и темп экономического роста определяются эндогенно. Власти могут предложить два вида политики, общественное здравоохранение и охрану окружающей среды, которые помогают увеличить продолжительность жизни и поддержать рост в долгосрочном периоде.

Аналогично [20] функция полезности индивидуума в период t задается как $U_t = \ln c_t + \phi_t \ln d_{t+1}$, где $\phi_t \leq 1$ (вероятность выживания) характеризует продолжительность жизни индивидуума.

Критическим фактором, определяющим продолжительность жизни, является соотношение расходов на здоровье H_t к показателю уровня загрязнения P_t . То есть $\phi_t \equiv \phi(H_t/P_t)$, плюс предполагается, что она удовлетворяет свойствам, описанным [20]. Более того, берется конкретный вид этой функции как частный случай функций, рассмотренных в [24] или [25]:

$$\phi(H_t/P_t) = \frac{\delta + b H_t/P_t}{1 + H_t/P_t}, \text{ где } b \geq \delta \geq 0. \text{ Параметр } \delta \text{ показывает}$$

минимальный уровень ожидаемой продолжительности жизни, который есть у агентов, даже если не осуществляются расходы на здоровье ($H_t = 0$).

Домашнее хозяйство максимизирует полезность на бюджетных ограничениях, как в [20] $c_t + s_t = (1 - \tau_1 - \tau_2)w_t$, $d_{t+1} \leq (1 + \widehat{R}_{t+1})s_t$, где $1 + \widehat{R}_{t+1} = (1 + R_{t+1})/\varphi_t$, R_t – есть предельный продукт капитала в экономике за вычетом нормы выбытия капитала, s_t есть сбережения в молодости, $\tau_1 \in (0,1)$ – ставка налога, финансирующего расходы на здоровье, $\tau_2 \in (0,1)$ – ставка налога, финансирующего расходы на охрану окружающей среды, $\tau_1 + \tau_2 < 1$.

Производство задается неоклассической производственной функцией $Y_t = F(K_t, \bar{K}_t L_t)$, где K_t – агрегированный капитал,

L_t – агрегированный труд, переменная \bar{K}_t обозначает агрегированный (средний) уровень капитала, который берется фирмами как данный.

Общественный сектор предоставляет услуги здравоохранения H_t , которые напрямую влияют на продолжительность жизни, и совершает расходы на охрану окружающей среды G_t , которые улучшают качество окружающей среды (и таким образом, неявно увеличивают продолжительность жизни). И те, и другие расходы финансируются при помощи налогов, так что $H_t = \tau_1 w_t L_t$, $G_t = \tau_2 w_t L_t$.

Качество окружающей среды моделируется при помощи переменной запаса загрязнения. Предполагается, что будущий уровень загрязнения зависит от предыдущего $P_t > 0$. Также предполагается, что он увеличивается с ростом производства и сокращается благодаря общественным расходам по охране окружающей среды. Закон движения для уровня загрязнения имеет вид $P_{t+1} = (1 - m)P_t + a_1 Y_t - a_2 G_t$, где $m \in (0, 1)$ (естественная абсорбция загрязнения), $a_1 \geq 0$, $a_2 \geq 0$, $P_0 > 0$ являются заданными параметрами.

Запас физического капитала оказывает два противоположных эффекта на накопление загрязнения. С одной стороны, производство имеет побочный эффект и производит загрязнение при помощи экзогенной технологии a_1 ; с другой стороны, производство порождает общественные расходы, направленные на снижение уровня загрязнения при помощи технологии a_2 .

Еще одна модель экономического роста с OLG структурой и одновременным определением эндогенных факторов загрязнения и здоровья представлена в статье [26]. Эта модель слегка отходит от схемы, предложенной [20], и включает загрязнение непосредственно в функцию полезности. В ней также как и в модели, описанной выше, ожидаемая продолжительность жизни и уровень загрязнения определяются эндогенно, наряду с

эндогенным экономическим ростом, вызванным накоплением физического либо человеческого капитала.

Вариант модели с накоплением человеческого капитала описывается следующим образом. Агенты в дискретной OLG модели живут три периода: детство, молодость, старость. Молодые агенты аналогично модели [22], описанной выше, максимизируют функцию полезности $U_t = \ln c_t + \pi_t [\alpha \ln h_{t+1} + \gamma \ln e_{t+1}]$, где c_t – есть потребление молодого потребителя, e_{t+1} – есть качество окружающей среды, когда индивидуум становится старым, $\gamma > 0$ показывает вес, который индивидуум присваивает будущему состоянию окружающей среды, π_t – есть вероятность выживания, зависящая от уровня загрязнения окружающей среды, h_{t+1} – уровень человеческого капитала, достигаемый ребенком индивидуума, α передает вес важности этого фактора.

Бюджетное ограничение здесь одно, поскольку нет потребления в старости, в отличие от модели [22] (при предположении, что производственная технология есть $y_t = wh_t$): $wh_t = c_t + m_t + v_t$, где w есть одновременно и показатель производительности и ставка заработной платы, предполагаемая постоянной во времени, m_t – расходы на охрану окружающей среды, v_t – инвестиции в образование ребенка, которое предполагается только частным в этой модели.

Образование ребенка является целью родителя, поскольку оно трансформируется в будущий человеческий капитал: $h_{t+1} = \delta(h_t)^\theta (\lambda + v_t)^{1-\theta}$, абсолютно аналогично модели [22].

Индивидуумы участвуют в охране окружающей среды, поскольку она помогает улучшить качество окружающей среды, согласно технологии $e_{t+1} = (1-\eta)e_t + \sigma m_t - \beta c_t - \psi y_t$, где $\beta, \sigma > 0$ и $0 < \eta < 1$. Параметр η есть естественный темп ухудшения качества окружающей среды, σ представляет эффективность мер по охране окружающей среды, β показывает загрязнение окружающей среды на каждую единицу потребления, ψ отражает эффект загрязнения, порожденного экономическим ростом.

Проблема всех описанных выше OLG моделей с ростом заключается в том, что они абстрагируются (не учитывают) от влияния здоровья на производительность через сокращение запаса времени, которое используется на отдых и труд.

4. Здоровье и деловые циклы. Модель Лауна

Единственной обнаруженной нами работой с (неоклассической) DSGE моделью, в которой эндогенно определяется уровень здоровья, является статья Тобиаса Лауна из его PhD диссертации 2012 года [4].

В своей статье «Health and business cycles» Тобиас Лаун [4] включает эндогенное здоровье в неоклассическую модель делового цикла. В качестве основы своей модели Лаун берет стандартную неоклассическую модель деловых циклов с бесконечно долго живущим репрезентативным домашним хозяйством и континуумом одинаковых фирм. Ключевым отличием от стандартной модели является включение в модель здоровья в качестве эндогенной переменной. Здоровье производится при помощи капитала здоровья и стохастической компоненты. У домашнего хозяйства есть две возможности для инвестирования: капитал здоровья и физический капитал. Здоровье увеличивает как уровень полезности, так и запас времени, которое может быть потрачено на работу и/или отдых.

Каждая фирма имеет доступ к технологии, задаваемой функцией Кобба–Дугласа. Выпуск в период t , следовательно, задается как $Y_t = F(K_t, N_t) = A_t K_t^\alpha N_t^{1-\alpha}$, где K_t есть количество физического капитала, N_t – затраты труда, A_t – уровень производственной технологии. Последний является экзогенным стохастическим процессом вида $\ln A_{t+1} = \rho \ln A_t + \varepsilon_{t+1}$, где $\{\varepsilon_{t+1}\}$ является нормально распределенной случайной величиной с нулевым средним и конечной дисперсией σ_Y^2 .

В период t чистые инвестиции в физический капитал равны валовым инвестициям I_t^K за вычетом выбытия капитала $K_{t+1} - K_t = I_t^K - \delta_K K_t$, где $\delta_K \in (0,1)$ есть экзогенная нор-

ма выбытия. Следуя Гроссману [3], Лаун [4] включает в модель здоровье в форме запаса так называемого капитала здоровья. Этот запас изнашивается с темпом $\delta_H \in (0,1)$ и увеличивается с ростом валовых инвестиций в капитал здоровья I_t^H : $H_{t+1} - H_t = I_t^H - \delta_H H_t$. В данной постановке инвестиции в капитал здоровья могут рассматриваться и как затраты на превентивные меры, такие как зарядка или здоровая диета, и также как и медицинские расходы, необходимые в случае ухудшения здоровья.

Для того чтобы учесть тот факт, что здоровье не является полностью детерминистической переменной, Лаун [4] предполагает, что существует эндогенная стохастическая компонента Z_t , следующая процессу $\ln Z_{t+1} = \psi \ln Z_t + v_{t+1}$ где $\{v_{t+1}\}$ является нормально распределенной случайной величиной с нулевым средним и конечной дисперсией σ_H^2 .

Аналогично выпуску, который производится с использованием эндогенного физического капитала (K_t) и экзогенного стохастического уровня технологии производства (A_t), индивидуальное эффективное здоровье индивидуума определяется эндогенным запасом капитала здоровья (H_t) и экзогенной стохастической компонентой здоровья (Z_t).

Здоровье влияет на индивидуума в модели двумя путями.

Во-первых, здоровье увеличивает уровень полезности индивидуума. Полезность, полученная от потребления и отдыха в период t , умножается на функцию $P()$, которая является дважды непрерывно дифференцируемой, строго вогнутой и возрастающей по своим аргументам: капиталу здоровья и уровню стохастической технологии производства здоровья. Полезность индивидуума в период t задается как

$$U_t = P(H_t, Z_t)[u(C_t) + v(L_t)],$$

где функции u и v являются дважды непрерывно дифференцируемыми, строго вогнутыми и возрастающими по своим

аргументам. C_t обозначает потребление, а L_t – время, затрачиваемое на отдых в период t . По сути дела Лауном [4] моделируется вероятность выживания, зависящая от уровня запаса капитала здоровья и стохастической составляющей.

Во-вторых, здоровье влияет на индивидуума через ограничение на запас времени индивидуума. Общий запас времени индивидуума равен 1. Индивидуум, однако, может использовать на отдых и предложение труда только долю $0 \leq T_t \leq 1$ от этого запаса. Ограничение по использованию времени индивидуума тогда выглядит как $T_t = T(H_t, Z_t) = L_t + N_t$, где $T(H_t, Z_t)$ – дважды непрерывно дифференцируемая, строго вогнутая и возрастающая по своим аргументам функция. Долю $1 - T_t$ можно проинтерпретировать как время, затрачиваемое на болезнь.

Индивидуум получает доход от ренты физического капитала и от работы. Он тратит свой доход на потребление и инвестиции в физический капитал и капитал здоровья. Кроме этого, предполагается наличие приспособительных издержек инвестирования в физический капитал и капитал здоровья, чтобы отразить убывающую отдачу от этих инвестиций. В итоге бюджетное ограничение выглядит следующим образом

$$W_t N_t + R_t K_t = C_t + I_t^K + I_t^H + \frac{\mu_K}{2} (I_t^K)^2 + \frac{\mu_H}{2} (I_t^H)^2,$$

где W_t есть ставка заработной платы, а R_t есть ставка ренты физического капитала. Задача фирмы в модели стандартная для неоклассической модели деловых циклов.

5. Пример неоклассической модели с эндогенным загрязнением и здоровьем на основе модели Fischer and Springborn (2011)

Как уже было отмечено, проблемой всех описанных выше дискретных OLG моделей с ростом является то, что они абстрагируются от влияния здоровья на производительность через сокращение запаса времени, который используется на отдых и труд, то есть в терминологии Лауна [4], не учитывается второй

канал влияния здоровья на индивидуума. Более того, даже в тех из них, которые учитывают и влияние загрязнения на здоровье (в том числе и в силу специфики построения OLG моделей), учитывается только влияние загрязнения на ожидаемую продолжительность жизни (вероятность выживания). Здесь мы пытаемся продемонстрировать возможность рассмотрения влияния именно этого неучтенного фактора влияния загрязнения через здоровье на производительность через сокращение запаса времени. Мы абстрагируемся для целей данного примера от рассмотрения капитала здоровья индивидуума, инвестиций в него и его положительного влияния на производительность, человеческий капитал и инвестиции в образование также не рассматриваются.

Пусть C – потребление, K – капитал, L – труд, l – досуг, M – загрязнение. Репрезентативный агент получает полезность $u(C, l)$ от потребления и досуга. Общий объём производства Y является функцией от капитала, труда и загрязнения $F(K, M, L)$, регулируемой коэффициентом производительности труда Θ с математическим ожиданием равным 1, где $Y = \Theta \cdot F(K, M, L)$. Учет влияния загрязнения через здоровье на производительность через сокращение запаса времени, доступного для труда и отдыха, в модели [27] нами моделируется следующим образом: в функции полезности мы отражаем сокращение общего запаса времени под воздействием влияния загрязнения

$$U_t = \ln C_t + \omega \ln \left(1 - L_t - \psi \frac{L}{Y} M_t \right),$$

где $\psi \frac{L}{Y} M_t$ – время болезни, ψ определяется как $\psi = \frac{Q_{il}}{Q_{LF}} \frac{Y/L}{M}$,

Q_{il} – количество больных, Q_{LF} – трудоспособное население, Y/L – доход на душу населения.

После преобразований условий первого порядка получают-ся уравнения для капитала, выбросов и потребления, как долей выпуска, а также отношение труда к досугу и уравнения устойчивого состояния модифицированной модели. Используя последние, можно рассмотреть, как работают различные виды

политик по снижению загрязнения окружающей среды, аналогично тому, как это было проделано в [27].

Заключение

Проведенный обзор показывает, что внедрение в модель эндогенного фактора здоровья проводится по двум каналам – через вероятность выживания (продолжительность жизни) и через изменение общего запаса времени, требуемого на отдых и труд, при этом для моделирования первого канала используется понятие капитала здоровья и инвестиций в него, либо расходов на здоровье.

Загрязнение также моделируется оказывающим негативное влияние на здоровье через первый канал – изменение вероятности выживания (продолжительности жизни). Само загрязнение эндогенно моделируют по-разному – как затраты фактора энергии на производство и как запас либо самого загрязнения, либо качества окружающей среды.

При этом возможно моделирование политики по улучшению как качества окружающей среды, так и уровня здоровья, как частной, так и общественной (государственной).

Из проведенного в обзоре анализа естественным образом следуют следующие заслуживающие внимания и отвечающие нашим целям варианты действий при построении модели общего равновесия с эндогенным здоровьем и загрязнением.

1. Использовать наши построения для примера в главе 5 (модель [27] с эндогенным фактором здоровья по второму каналу влияния – через изменение общего запаса времени, требуемого на отдых и труд) для калибровки/оценивания предложенного примера модели для экономики России.

2. Улучшить модель из примера в главе 5 на предмет учета и первого канала влияния здоровья на поведение агентов – через ожидаемую продолжительность жизни (и влияние загрязнения на здоровье путем сокращения продолжительности жизни), как в моделях OLG главы 3 и у Лауна [4] и затем откалибровать/оценить для России.

3. Взять за основу модель с «более классическим» моделированием загрязнения через запас загрязнения (или через запас качества окружающей среды) как в [28], вставить в нее здоровье по одному или двум каналам, обсуждаемым выше, и откалибровать/оценить для России.

4. Взять за основу RBC модель Лауна [4], внедрить в нее загрязнение, накапливаемое как запас, влияющее отрицательно на продолжительность жизни, с одновременным задействованием второго канала влияния здоровья через сокращение общего запаса времени, отводимого на отдых и труд, а затем откалибровать/оценить для России.

5. Использовать неокейнсианскую модель деловых циклов с накоплением капитала и загрязнением [29] для включения в нее здоровья по одному или двум каналам, а затем откалибровать/оценить для России.

6. Построение теоретической 2- или 3-периодной OLG модели с загрязнением и здоровьем, моделируемом через оба канала влияния, основываясь на модели [23] или [26].

Все эти направления являются «белыми пятнами» в литературе и отвечают нашим целям построения модели общего равновесия с эндогенным здоровьем и загрязнением. Однако с точки зрения реалистичности получаемой модели (обзор показывает преимущества современных неокейнсианских DSGE моделей) наиболее предпочтительной выглядит развитие неокейнсианской постановки (варианта действий 5), хотя, возможно, это более серьезная цель на будущее.

Литература

1. **Колюжнов Д.В., Богомолова А.С.** Краткий обзор DSGE-моделирования // Инновационный потенциал экономики России: состояние и перспективы: сб. науч. тр. / отв. ред. А.В. Алексеев, Л.К. Казанцева; ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск, 2013. – С. 298–318.
2. **Колюжнов Д.В., Богомолова А.С.** Как связаны здоровье населения, загрязнение окружающей среды и макроэкономическая динамика (краткий обзор теоретических моделей) // Проблемы и перспективы модернизации российской экономики: сб. науч. тр. / отв. ред. А.В. Алексеев, Л.К. Казанцева; ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск, 2014. – С. 150–163.
3. **Grossman M.** (1972): «On the Concept of Health Capital and the Demand for Health», *Journal of Political Economy*, 80, 223–55.
4. **Laun, Tobias** (2012) *Essays on Macroeconomics and Health*, Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy, Ph.D. Stockholm School of Economics, <http://hhs.diva-portal.org/smash/get/diva2:722797/FULLTEXT01.pdf>

5. **Гильмундинов В.М., Казанцева Л.К., Тагаева Т.О., Кугаевская К.С.** Загрязнение природной среды и общественное здоровье в России // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Социально-экономические науки. – 2012. – Т. 12, вып. 3. – С. 63–74.
6. **Гильмундинов В.М., Казанцева Л.К., Тагаева Т.О., Кугаевская К.С.** Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения регионов России // Регион: экономика и социология. – 2013. – № 1. – С. 209–228.
7. **Тагаева Т.О., Казанцева Л.К.** Загрязнение природной среды в РФ и его влияние на общественное здоровье: региональный аспект // Индустриальное развитие России: сб. науч. тр. / отв. ред. А.Г. Коржубаев, Л.К. Казанцева; ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск, 2012. – С. 207–223.
8. **Becker G.S.** (1964), Human Capital (Columbia University Press for the National Bureau of Economic Research, New York).
9. **Becker G.S.** (1967), Human Capital and the Personal Distribution of Income: An Analytical Approach (University of Michigan, Ann Arbor, Michigan).
10. **Ben-Porath Y.** (1967), «The production of human capital and the life cycle of earnings», Journal of Political Economy 75:353–367.
11. **Mincer J.** (1974). Schooling, Experience, and Earnings (Columbia University Press for the National Bureau of Economic Research, New York).
12. **Mushkin, Selma J.** (1962): «Health as an Investment», Journal of Political Economy, 70, 129–57.
13. **Fuchs V.R.** (1966), «The contribution of health services to the American economy», Milbank Memorial Fund Quarterly 44:65–102.
14. **Grossman M.** (2000) «The human capital model», Handbook of Health Economics, in: A.J. Culyer & J.P. Newhouse (ed.), Handbook of Health Economics, edition 1, volume 1, chapter 7, pages 347–408 Elsevier.
15. **Ehrlich I., Chuma H.** (1990), «A Model of the Demand for Longevity and the Value of Life Extension», Journal of Political Economy, 98, 761–782.
16. **Ried W.** (1998). «Comparative Dynamic Analysis of the Full Grossman Model», Journal of Health Economics, 17, 383–425.
17. **Mankiw N.G., D. Romer and D.N. Weil. M.** (1992): «A Contribution to the Empirics of Economic Growth», Quarterly Journal of Economics, 107, 407–37.
18. **Fogel R.W.** (1994): «Economic growth, population health and physiology: The bearing of Long term processes on the making of economic policy», American Econ. Review, 84, 369–395.
19. **Barro R.J.** (1996): «Three Models of Health and Economic Growth», Unpublished Manuscript, Harvard University, Cambridge, MA.

20. **Chakraborty S.** (2004), «Endogenous Lifetime and Economic Growth», *Journal of Economic Theory*, 116, 119–137.
21. **de la Croix D., Ponthiere G.** (2010). «On the Golden Rule of capital accumulation under endogenous longevity», *Mathematical Social Sciences*, Elsevier, vol. 59(2), pages 227–238, March.
22. **Osang T., Sarkar J.** (2008). «Endogenous mortality, human capital and economic growth», *Journal of Macroeconomics*, Elsevier, vol. 30(4), pages 1423–1445, December.
23. **Raffin N., Seegmuller T.** (2014). Longevity, pollution and growth, *Mathematical Social Sciences*, Volume 69, May 2014, pages 22–33,
24. **Blackburn K., Cipriani G.P.** 2002. A model of longevity, fertility and growth. *J. Econom. Dynam. Control* 26, 187–204.
25. **Castelló-Climent A., Doménech R.** (2006). Human capital inequality, life expectancy and economic growth. *Econom. J.* 118, 653–677.
26. **Mariani F., Pérez-Barahona A., Raffin N.** (2010) «Life expectancy and the environment», *Journal of Economic Dynamics and Control*, Elsevier, vol. 34(4), pages 798–815, April.
27. **Fischer C, Springborn M.** (2011): «Emissions targets and the real business cycle: intensity targets versus caps or taxes», *J. Environ. Econ. Manag.*, 62, 352–366.
28. **Heutel G.** (2012): «How should environmental policy respond to business cycles? Optimal policy under persistent productivity shocks», *Review of Economic Dynamics*, 15, 244–264.
29. **Annicchiarico B., di Dio F,** (2013). «Environmental Policy and Macroeconomic Dynamics in a New Keynesian Model», *CEIS Research Paper* 286, Tor Vergata University, CEIS, revised 30. Sep. 2013.