

Н. В. Шилова¹

преподаватель кафедры микроэкономического анализа Государственного университета — Высшая школа экономики (Москва)

ДЕФИЦИТНОСТЬ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ: СЛУЧАЙ ИЗРАИЛЯ

Введение

Влияние наделенности страны ресурсами на появление технологических инноваций и ее общий экономический рост давно и активно обсуждается в экономической литературе. Существует несколько направлений изучения этого вопроса, одно из них — так называемая «эндогенная» или «новая» теории роста (Lucas, 1988; Rebelo, 1991; Romer, 1986; 1990).

Одной из особенностей этих работ является то, что в них предполагается, что технологические инновации определяются эндогенно через выбор частный и общественный, а не экзогенно (как это предполагается в неоклассической модели роста). Эмпирические исследования на эту тему в основном пытаются ответить на вопрос, почему темпы экономического роста в группе бедных стран не догоняют темпы роста в богатых. Школа эндогенного роста утверждает, что ответ довольно прост. Бедные страны не смогут достичь более высоких темпов роста, потому что не могут генерировать и использовать новые технологические идеи для расширения своих экономических возможностей. В частности, П. Ромер (Romer, 1992) указывал, что «признак, который все более будет (экономически) отдалять географические районы (или страны или города) друг от друга есть качество общественных институтов. Наиболее успешными областями будут те, в которых работают наиболее подходящие и эффективные механизмы, поддерживающие общие интересы, особенно в сфере появления новых идей». В таком случае, по его мнению, неспособность бедных стран к продвижению вперед чаще всего можно объяснить неудачными политическими решениями и слабыми институтами.

Согласно иному подходу, которого придерживается, например, Э. Барбие (Barbier, 1994), во многих бедных странах истощение и деградация природных ресурсов — таких как пахотные земли, леса, пресная вода — способствуют институциональной нестабильности и препятствуют возникновению условий, необходимых для производства и использования собственных новых идей, а также мешают восприятию знаний из внешнего мира. Утверждается, например, что во многих случаях именно ресурсная обеспеченность страны оказывает наиболее важное влияние на экономику развивающихся стран, но не напрямую на

¹ Эл. адрес: shilova-nv@ya.ru

экономический рост, а косвенно, влияя на инновационный потенциал страны. На макроданных им показано, что во многих странах с низким уровнем дохода и доходом ниже среднего — особенно в тех, в которых в то время преобладали крайне низкие темпы роста или стагнация — крайне остро стоит проблема зависимости от природных ресурсов. Эти страны не просто живут за счет прямого использования ресурсной базы (например, сельское хозяйство, лесное хозяйство, рыболовство и т. д.), но больше половины их доходов от экспорта поступает от продажи нескольких видов товаров первичной обработки. Вырубка лесов под пашни, низкая производительность труда в сельском хозяйстве, деградация земель и подземных вод сопровождают такие страны, еще более ухудшая их положение.

Что касается стран именно с дефицитом природных ресурсов, то неоклассические модели роста в основном приходят к оптимистичным результатам: в условиях даже экспоненциального роста населения и при ограниченных запасах невозобновляемых природных ресурсов, которые необходимы для производства, устойчивый рост и стабильный уровень потребления на душу населения вполне достижимы (Dasgupta, Heal, 1979; Stiglitz, 1974). Так, Э. Барбье (Barbier, 1994), совместив модель исчерпаемых ресурсов Дж. Стиглица и модели эндогенного П. Ромера для определения, как ограниченность природных ресурсов влияет на рост экономики, получил тоже вполне оптимистичный результат: несмотря на эндогенность технического прогресса в модели, он по-прежнему эффективно способствует наращиванию природного ресурса. Это объясняется тем, что использование человеческого капитала в инновационной деятельности гарантирует, что в долгосрочной перспективе «исчерпание» ресурсов может быть отодвинуто на неопределенный срок. Т. Э. Гомер-Диксон (Homer-Dixon, 1995) также указывает на потенциальную связь между инновациями и доступностью ресурсов. Он вводит термин «изобретательность» (ingenuity) и показывает, что предложение «изобретательности» само по себе может быть ограничено нехваткой ресурсов, особенно в странах с низким уровнем доходов. Т. Э. Гомер-Диксон определяет изобретательность как «идеи, направленные на решение прикладных социальных и технических задач». Изобретательность в его трактовке отличается от инновационного потенциала населения страны. Если последнее есть в основном уровень «технической» изобретательности, и именно этот аспект подразумевается, по его мнению, в большинстве работ на тему связи инноваций ресурсного обеспечения и экономического роста, то «социальная» изобретательность — это то, что обычно упускается из виду, притом что, по мнению Т. Э. Гомер-Диксона, именно этот аспект общественной деятельности является определяющим для развития страны.

Социальная изобретательность, согласно подходу Т. Э. Гомера-Диксона, подразумевает наличие и развитость (разнообразие) идей относительно создания, реформирования и поддержания существования общественных институтов. Если институциональное устройство общества эффективно, то такая система обеспечит наличие психологических и материальных стимулов для технологических новаторов и предпринимателей, поможет налаживанию регулярных контактов и обмена информацией между исследователями, и их усилия будут иметь успех с большей вероятностью.

Т. Э. Гомер-Диксон описывает также конкретные механизмы, посредством которых дефицит ресурсов может влиять на предложение изобретательности. Во-первых, дефицит ресурса делает его объектом интересов узких групп людей, стремящихся получить свою ренту от его использования. Их рентоориентированное поведение зачастую подразумевает насилие и использование власти для сокращения гражданских свобод, и в таких ситуациях человеческий потенциал,

который иначе мог бы быть использован в инновационных целях, растрачивается на борьбу с «социальными трениями» (social friction). Во-вторых, согласно теории эндогенного роста, капитал является необходимым фактором в развитии инновационной деятельности. В случае же дефицита ресурсов распределение инвестиций неизбежно сдвигается в сторону от долгосрочных целей, в том числе инновационных, к краткосрочным — таким как решение задач управления и смягчения последствий дефицита. Согласно точке зрения, лежащей в основе анализа Т. Э. Гомера-Диксона, дефицит ресурсов способствует изменениям, затрагивающим всю экономико-политическую среду как на местном, так и на региональном и национальном уровнях. Т. Э. Гомер-Диксон рассматривает, однако, именно бедные страны, утверждая, что недостаток ресурсов способствует усугублению социальных трений и в конечном счете приводит к недостаточному использованию потенциала изобретательности именно в социальной сфере. Такое положение мешает свободному функционированию рынков и способствует политическим провалам и институциональным неудачам. Круг замыкается. Свои идеи Т. Э. Гомер-Диксон иллюстрирует следующими схемами (рис. 1, 2).

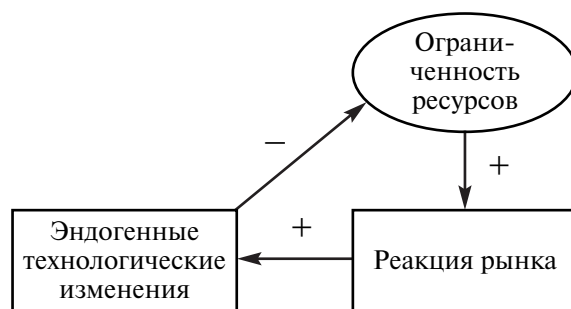


Рис. 1. Традиционный подход к влиянию ограниченности природных ресурсов при эндогенных технологических изменениях

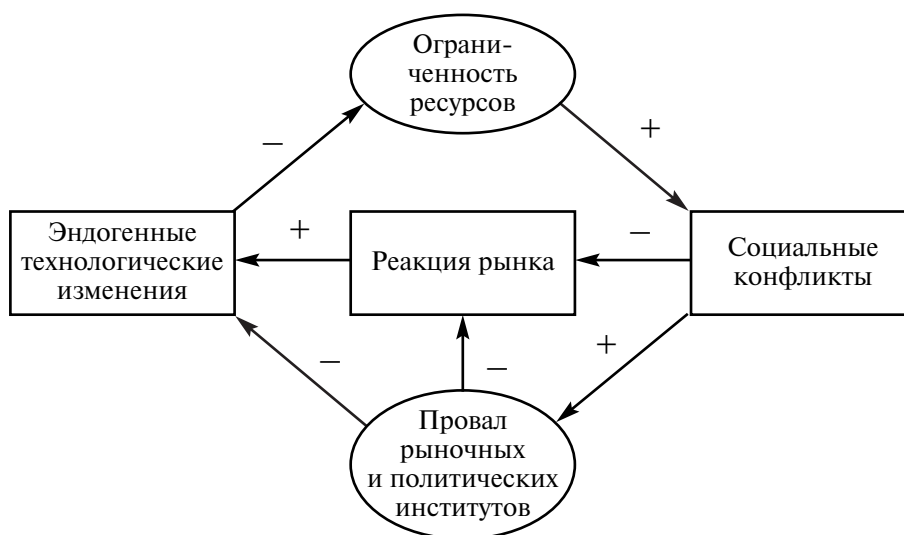


Рис. 2. Альтернативный подход к ограниченности природных ресурсов при эндогенных технологических изменениях (подход Т. Э. Гомера-Диксона)

Инновации в Израиле

Согласно нашей гипотезе, «изобретательность» в Израиле в том смысле, который вкладывает в этот термин Т. Э. Гомер-Диксон, есть одно из направлений развития того ресурса, который есть у Израиля в достатке, — человеческого капитала. Мы также считаем, что этот ресурс используется страной для замещения другого, дефицитного и при этом совершенно необходимого для выживания людей ресурса — пресной воды.

Мы предполагаем, что в случае Израиля подобный дефицит сыграл совершенно иную роль — он способствовал экономическому росту страны. Более того, стал одним из факторов ее развития. Действительно, с уже в 2001 г. домохозяйства и промышленность в Израиле потребляли 720 млн куб. м воды в год, а сельское хозяйство — 1130 млн куб. м (Kislev, 2001), что на 500 млн куб. больше, чем годовой объем пресной воды, доступный Израилю без нарушения водного баланса региона, и эта ситуация была бы катастрофической, если бы не инновации в сфере производства и потребления воды и если бы не институциональная структура, позволившая этим инновациям, во-первых, возникнуть, а во-вторых, быть внедренными, и, что самое главное, если бы не «социальная» изобретательность, постепенно менявшая структуру экономики, «замещающая» дефицитный ресурс имеющимся в стране в гораздо большем объеме (инновационным потенциалом людей). Понимание того, что воды не будет больше, чем сейчас, и что существующие запасы с точки зрения международного права спорны и каким-то образом договориться об их рациональном использовании практически невозможно, привело к тому, что было найдено решение: необходимо, во-первых, интенсифицировать использование ресурса, особенно в сельском хозяйстве, потребляющем большую часть пресной воды, а во-вторых, развивать технологии, позволяющие использовать одну и ту же воду несколько раз. В Израиле были разработаны технологии, позволяющие опреснять морскую воду, очищать сточные воды и сокращать потери воды, вызываемые несовершенством средств ее доставки, но еще раньше инновации, позволяющие экономить воду в сельском хозяйстве, сделали израильский аграрный сектор состоящим «на 95% из научных достижений и на 5% из труда» (Senor, Singer, 2009). Таким образом, дефицит воды подстегивает развитие высоких технологий в этой области, становясь в конечном счете одним из факторов развития всей страны.

Развитие высоких технологий в Израиле не было и не могло быть самопроизвольным процессом. Государство активно вмешивалось в соответствующие проекты, разрабатывало программы субсидирования разработки и производства высокотехнологичной продукции. Частным инвесторам интересны в основном разработки, которые уже прошли все стадии тестирования, и вполне понятен рынок, на который рассчитано новое изобретение. Поэтому как поддержка крупных исследовательских центров, так и мелких старт-ап компаний — работа либо очень крупных инвесторов, либо государства. Поддержка науки и образования как таковых есть, скорее, прерогатива государства, ожидающего не только конкретного результата в виде высокоприбыльного продукта, но и роста общего инновационного потенциала населения и конкурентоспособности производимой им продукции на мировом рынке. Положительные экстерналии, связанные с развитием наукоемкого производства, для руководства отдельной фирмы не имеют того значения, какое они имеют для общественного планировщика, наблюдающего общий рост доли дорогой высокотехнологичной продукции в производстве. Б. Бенгал и Д. Пелед (Bental, Peled, 2002), взяв за основу динамическую модель роста Солоу, показали, что государственное финансирование

НИОКР оказало значительное влияние на развитие высоких технологий в Израиле. Основным выводом работы при этом было то, что в случае Израиля интерес бизнеса к высокотехнологичным отраслям может иногда показаться недостаточным, но это вовсе не в силу отсутствия интереса как такового, а в силу отсутствия или недостатка ресурсов. Государство, восполняя в определенной мере этот недостаток, позволяет реализовать как предпринимательские, так и исследовательские возможности граждан.

Израильский опыт государственной поддержки промышленных НИОКР имеет уже достаточно долгую историю. Признавая, что на раннем этапе развития государства необходимо опираться на инновационные технологии в условиях отсутствия промышленной базы или природных ресурсов, израильское правительство разработало в начале 1970-х гг. различные системы государственной поддержки промышленных НИОКР, с тех пор средняя доля израильской государственной поддержки хай-тек бизнеса на протяжении многих лет составляет в Израиле около 20%. Любой промышленный хай-тек проект для получения государственной поддержки должен удовлетворять некоторым общим критериям целесообразности и возможности местного производства. В зависимости от того, идет речь о разработке нового продукта или доработке старого, а также предназначен ли продукт для военных или гражданских целей, проект может получить грант, оплачивающий до 66% его расходов (Trajtenberg, 2000). Финансирование проектов при этом зачастую направлено на достижение сразу нескольких целей (что затрудняло анализ Bental&Peled). Например, в разных районах страны предприниматели могут рассчитывать на разные субсидии (или ставки налога) для одних и тех же проектов, поскольку государство заинтересовано в экспансии по определенным направлениям (например, в расширении и экономическом росте «городов развития» в Негеве). Б. Бентал и Д. Пелед (Bental, Peled, 2002) исследовали в своей работе влияние различных государственных программ помощи НИОКР (направленного финансирования отдельных проектов, общего финансирования всех исследований и снижения налогового бремени для успешных хай-тек фирм) и пришли к выводу, что при тех затратах на подобные программы в Израиле, которые сейчас есть, все они имеют примерно одинаковый эффект, и этот эффект положительный, поскольку позволяет аккумулировать необходимый для развития высокотехнологичных отраслей капитал и обеспечивает появление так называемого «эффекта перелива», когда полученное знание распространяется в обществе и становится основой для приобретения нового.

В большой мере отсутствие такой государственной поддержки в соседней Иордании объясняет то, почему в этой стране примерно такими же проблемами с пресной водой не случилось пока большого скачка к технологиям водозамещения, водосбережения и производства воды.

В своих выводах из модели, которую мы рассмотрим ниже, Д. Асемоглу (Acemoglu, 2002) говорит о том, что век XIX имел существенное отличие от века XX в направлении развития технологий. По его мнению, в XX в. произошел переход от преимущественно «навыкозамещающего» (unskilled-based или skill-substitutive) развития технологий к «навыкоразвивающим» (skill-biased), и причиной тому — разница в относительных ценах на факторы производства, одним из которых является труд. Именно объяснение технологической направленности инноваций относительными ценами на факторы производства — ограниченные или имеющиеся в изобилии — позволяет нам использовать модель Д. Асемоглу для объяснения ситуации в Израиле. Действительно, относительная цена природных ресурсов и, в частности, воды крайне высока в Израиле, поэтому технологии развиваются в сторону их замещения. Относительная же цена высококвал-

лифицированного труда достаточно долгое время оказывалась относительно низкой — всем известны истории о профессорах из Советского Союза, подметающих улицы Иерусалима, потому что применения их навыкам и знаниям не нашлось. «Качество» прибывавших в Израиль в течение всего периода его существования людей было достаточно высоким, и это касается не только «алии» из бывшего СССР. «Изобретательность» в терминах Т. Э. Гомера-Диксона для Израйля — это тот интеллектуальный багаж, который привозили и привозят новые иммигранты, это те навыки и умения, которым не дают пропасть правительственные программы по поддержке науки и предпринимательства. Замещение дефицитной воды такой «изобретательностью» в Израиле происходит достаточно успешно в течение уже многих лет.

Пример Саудовской Аравии также подтверждает выводы Д. Асемоглу — там относительно дешевая нефть позволяет идти по пути наименьшего сопротивления дефициту воды — куплено большое количество опреснительных заводов с дорогостоящим оборудованием — более 70% потребляемой в стране пресной воды производится ими¹. Такие заводы дороги и в обслуживании, поскольку опреснение морской воды крайне энергозатратно, но относительная цена нефти в Саудовской Аравии также ниже, чем воды.

Модель

Рассмотрим агрегированную производственную функцию вида $F(L, Z, A)$, где L — труд, Z может быть капиталом, квалифицированной рабочей силой, водой или землей, а A — коэффициент, зависящий от технологии. Нас будет интересовать замещение или дополнение рабочей силы водой, поэтому далее будем говорить о двух факторах производства как о «труде» и «воде». Без потери общности положим, что $\frac{\partial F}{\partial A} > 0$, так что чем больше значение A , тем «лучшая» технология используется, а рост этого коэффициента будет означать для нас «технологический прогресс». Технологические изменения в большей мере затрагивают фактор L [L -развивающие (augmenting)], если вид производственной функции таков: $F(AL, Z)$. Z -развивающие технологические изменения определяются также через вид функции. Будем также считать, что если технологические изменения L -направленные (biased), то верно следующее:

$$\frac{\partial \frac{\partial F / \partial L}{\partial F / \partial Z}}{\partial A} > 0,$$

что означает, что такие изменения приводят к росту предельного продукта фактора L в большей мере, чем Z .

Чтобы понять, в чем различия между этими двумя понятиями («развивающая» и «направленная» технологии), рассмотрим производственную функцию с постоянной отдачей от масштаба

$$y = \left[\gamma (A_L L)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\gamma) (A_Z Z)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}},$$

где A_L и A_Z — два не связанных между собой технологических коэффициента, а $\gamma \in (0; 1)$ — параметр, показывающий, насколько важен каждый из двух факторов. При $\sigma \in (0; +\infty)$ замещение одного фактора другим эластично. Если $\sigma = +\infty$, факторы производства являются совершенными заменителями, а производственная функция линейна. При $\sigma = 1$ производственная функция прини-

¹ По данным аналитического агентства Cleandex, www.cleandex.ru.

мает вид функции Кобба — Дугласа, а при $\sigma = 0$ факторы становятся совершенными дополнителями, а сама производственная функция становится Леонтьевской.

Если $\sigma > 1$, мы будем называть факторы производства несовершенными заменителями, а при $\sigma < 1$ — несовершенными дополнителями. По построению, коэффициенты A_L и A_Z L -развивающие и Z -развивающие соответственно. Мы также будем говорить о них как о трудодополняющем (A_L) и вододополняющем (A_Z).

Направленность технического прогресса в сторону труда или фактора Z зависит от эластичности взаимозамещения между ними. Это можно показать, если рассчитать предельную норму замещения факторов:

$$\frac{MP_Z}{MP_L} = \frac{1 - \gamma}{\gamma} \left(\frac{A_Z}{A_L} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \left(\frac{Z}{L} \right)^{-\frac{1}{\sigma}}. \quad (1)$$

Мы получаем, что предельный продукт фактора Z снижается относительно предельного продукта труда при относительном «изобилии» фактора Z , Z/L .

Влияние A_Z на относительный предельный продукт зависит, однако, от σ . При $\sigma > 1$ рост A_Z (по отношению к A_L) приводит к увеличению относительного предельного продукта фактора Z . При $\sigma < 1$ рост A_Z ведет к обратному процессу. Таким образом, когда факторы являются несовершенными заменителями, Z -развивающее (Z -замещающее) технологическое изменение будет также и Z -направленным. Наоборот, если оба фактора являются несовершенными дополнителями, Z -развивающее технологическое изменение будет L -направленным. Действительно, при $\sigma = 1$ изменение ни в A_Z , ни в A_L не будет направленным к какому-то одному фактору.

Интуитивное объяснение тому, что при $\sigma < 1$ Z -развивающее технологическое изменение L -направлено, состоит в следующем: если факторы являются несовершенными дополнителями, рост производительности воды ведет к увеличению величины спроса на труд в большей степени, что приводит к «излишнему спросу» на последний. В результате предельный продукт труда вырастает больше, чем предельный продукт воды.

Теперь рассмотрим конкретный случай, когда A_L и A_Z определяются эндогенно «технологическим монополистом», поставляющим технологии определенного типа. Одним из важнейших результатов дальнейшего анализа будет то, что прибыльность разработки и внедрения новых Z -дополняющих технологий относительно прибыльности внедрения трудодополняющих растет пропорционально следующему выражению:

$$\left(\frac{A_Z}{A_L} \right)^{-\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{Z}{L} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}. \quad (2)$$

Будем полагать, что стремление максимизировать прибыль определяет, какой тип инновации будет развит. Если множитель (2) по своему значению велик, это означает, что A_Z вырос в большей степени по сравнению с A_L .

Если оба фактора — несовершенные заменители ($\sigma > 1$), рост значения соотношения Z/L приведет к увеличению относительной прибыльности внедрения Z -дополняющей технологии.

Чтобы стимулы внедрения инноваций уравнились, отношение A_Z/A_L должно расти, снижая значение коэффициента (2) до начального уровня, и техническое новшество будет затрагивать фактор, имеющийся в изобилии, в большей мере. Наоборот, если оба фактора — несовершенные дополнители ($\sigma < 1$),

рост значения соотношения Z/L приведет к снижению A_Z/A_L . Вспомним, однако, что $\sigma < 1$, а более низкие значения A_Z/A_L соответствуют Z -направленным техническим изменениям. В этом случае рост Z/L снижает относительную производительность фактора Z , но увеличивает относительную стоимость предельного продукта из-за относительного изменения цен. В результате в обоих случаях относительное изобилие фактора Z влечет Z -направленные технологические изменения.

Спрос

Рассмотрим теперь спрос на новые технологии (инновации).

Пусть в экономике представлены репрезентативные потребители с предпочтениями, обладающими постоянной несклонностью к риску:

$$\int_0^{+\infty} \frac{C(t)^{1-\theta} - 1}{1-\theta} e^{-\rho t} dt, \quad (3)$$

где ρ — коэффициент временных предпочтений потребителя, а θ — относительной несклонности к риску (или межвременной эластичности замещения).

Не будем пока принимать во внимание временные коэффициенты, поскольку это не скажется на нашем дальнейшем анализе. Опишем бюджетное ограничение потребителя:

$$C + I + R \leq Y \equiv \left[\gamma Y_L^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + (1-\gamma) Y_Z^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} \right]^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}}, \quad (4)$$

где I — объем инвестиций, R — расходы на НИОКР.

Потребление, инвестиции и расходы на НИОКР финансируются из средств, полученных от продажи двух произведенных товаров, Y_L и Y_Z , эластичность замещения которых равна ε . Параметр γ показывает, насколько велика доля одного или другого товара в агрегированном производстве. Один из этих товаров, Y_L , требует больше затрат труда, а второй, Y_Z — Z -интенсивен.

Товары производятся по следующим технологиям:

$$Y_L = \frac{1}{1-\beta} \left(\int_0^{N_L} x_L(j)^{1-\beta} dj \right) L^\beta \quad (5)$$

и

$$Y_Z = \frac{1}{1-\beta} \left(\int_0^{N_Z} x_Z(j)^{1-\beta} dj \right) Z^\beta, \quad (6)$$

где $\beta \in (0; 1)$, а L и Z есть общие предложения соответствующих факторов производства, и мы будем предполагать, что предложение их неэластично.

Обозначим технологии, необходимые для производства товара, как x ; те технологии, что требуют использования вместе с ними и фактора, как N .

Получаем, что товар, производящийся с большими затратами труда, требует использования как самого труда, так и дополняющих его промежуточных продуктов труда и технологий x_L , из которых N_L обслуживаются людьми. Для второго товара все аналогично. Заметим, что для данных N_L и N_Z производство товаров (5) и (6) происходит с постоянной отдачей от масштаба. Возрастающая отдача от масштаба появится в случае эндогенно задаваемых N_L и N_Z .

Предположим, как уже говорилось, что в обоих секторах технологии поставляются производителями-монополистами и N_L и N_Z принимаются как данные.

Каждый монополист устанавливает размер ренты за пользование технологией, $x_L(j)$ или $x_Z(j)$ соответственно.

Пусть для простоты предельные издержки разработки всех технологий одинаковы и равны ψ .

Важным предположением будет то, что для производства разных товаров требуется разное «количество» технологий, что позволяет достигать направленных технологических изменений в том смысле, который мы вкладываем в этот термин.

Сами количества используемых в дополнение к факторам технологий, N_L и N_Z , определяют агрегированную производительность, а их соотношение, N_Z/N_L , — относительную производительность фактора Z .

Равновесие

Равновесием (при заданных N_L и N_Z) будет набор цен на технологии, $x_L(j)$ и $x_Z(j)$, который максимизирует прибыль монополистов; спросы на технологии со стороны обоих секторов, $x_L(j)$ и $x_Z(j)$, максимизирующие прибыли производителей; а также набор клиринговых цен на факторы и на товары, w_L, w_Z и p_L, p_Z . Найдем это равновесие и покажем, что оно единственно.

Рынки обоих товаров конкурентны, так что «клиринг» рынка подразумевает, что можно найти такое соотношение их цен (относительную цену товаров), равное p , которое бы удовлетворяло тождеству:

$$p \equiv \frac{p_Z}{p_L} = \frac{1 - \gamma}{\gamma} \left(\frac{Y_Z}{Y_L} \right)^{-\frac{1}{\varepsilon}}. \quad (7)$$

Чем больше предложение товара Y_Z относительно товара Y_L , тем ниже эта цена. Степень изменения цены в зависимости от изменения предложения определяется эластичностью замещения ε .

Пусть цена финального продукта конечна, тогда верно равенство:

$$\left[\gamma^\varepsilon p_L^{1-\varepsilon} + (1 - \gamma)^\varepsilon p_Z^{1-\varepsilon} \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}} = 1. \quad (8)$$

Поскольку рынки товаров конкурентны, фирмы в секторе, в котором используется в большей мере рабочая сила, решают следующую задачу:

$$\max_{L, x_L(j)} p_L Y_L - w_L L - \int_0^{N_L} x_L(j) x_L(j) dj, \quad (9)$$

принимая, что цена на их товар, p_L , и цена ренты машин, $x_L(j)$, а также величина N_L им заданы извне. Задача фирм из второго сектора аналогична. Условия первого порядка дают нам следующие функции спроса на технологии:

$$x_L(j) = \left(\frac{p_L}{x_L(j)} \right)^{\frac{1}{\beta}} L; \quad x_Z(j) = \left(\frac{p_Z}{x_Z(j)} \right)^{\frac{1}{\beta}} Z. \quad (10)$$

Таким образом, мы видим, что желаемое количество разработанных технологий растет по цене продукта, p_L или p_Z , и по количеству людей, нанятых для работы на фирме, L и Z . Спрос на технологии падает с ценами на них, $x_L(j)$ или $x_Z(j)$. Интуитивное объяснение здесь состоит в том, что чем выше цена конечной продукции, тем больше предельный продукт всех факторов, в том числе и предельный продукт технологий, что стимулирует фирмы закупать их в большем количестве. С другой стороны, с ростом количества занятых большее число

работников начинает использовать соответствующие технологии, что приводит к росту спроса на них.

Максимизируя прибыль по L и Z , получаем цены на факторы:

$$w_L = \frac{\beta}{1-\beta} p_L \left(\int_0^{N_L} x_L(j)^{1-\beta} dj \right) L^{\beta-1}; \quad w_Z = \frac{\beta}{1-\beta} p_Z \left(\int_0^{N_Z} x_Z(j)^{1-\beta} dj \right) L^{\beta-1}. \quad (11)$$

Обсудим теперь саму проблему направленного технологического изменения. Хотелось бы показать, что максимизирующие свою прибыль фирмы будут развивать инновации в ответ на рост прибыли. Рассмотрим «технологических монополистов». Как уже говорилось, предельные издержки производства технологий одинаковы и равны ψ . Таким образом, прибыль монополиста j , разрабатывающего технологии для труда, равна $\pi_L(j) = (x_L(j) - \psi)x_L(j)$. Поскольку кривая спроса на его технологии обладает постоянной эластичностью, цена, позволяющая ему максимизировать прибыль, будет превышать предельные издержки на постоянную величину: $x_L(j) = \frac{\psi}{1-\beta}$. Чтобы упростить дальнейшие вычисления, примем предельные издержки равными $\psi \equiv 1 - \beta$. В результате в равновесии цены на технологии будут равны и равны единице: $x_L(j) = x_Z(j) = 1$. Тогда прибыль монополистов выражается как

$$\pi_L = \beta p_L^{1/\beta} L \quad \text{и} \quad \pi_Z = \beta p_Z^{1/\beta} Z. \quad (12)$$

Для монополистов важны не сиюминутные, а дисконтированные величины прибыли. Их мы можем выразить, используя стандартные уравнения динамического программирования:

$$rV_L - \dot{V}_L = \pi_L \quad \text{и} \quad rV_Z - \dot{V}_Z = \pi_Z, \quad (13)$$

где r — ставка процента, меняющаяся во времени.

Эти уравнения связывают дисконтированную стоимость будущих прибылей, V , с потоком прибылей, π . Параметр \dot{V} необходим для того, чтобы показать, что будущие прибыли могут не быть равными настоящим, например из-за изменившихся цен.

Рассмотрим ситуацию, в которой \dot{V} принимает нулевое значение. В этом случае мы получаем следующие стоимости будущих прибылей:

$$V_L = \frac{\beta p_L^{1/\beta} L}{r} \quad \text{и} \quad V_Z = \frac{\beta p_Z^{1/\beta} Z}{r}. \quad (14)$$

Чем больше значение V_Z по сравнению с V_L , тем больше стимулов создавать Z -дополняющие технологии, N_Z , а не N_L . При этом на технологические изменения влияют одновременно два эффекта:

1) ценовой эффект. Стимулы инвестировать в более дорогую продукцию выше, чем в менее дорогую. Соответственно, V_Z и V_L растут по p_Z и p_L ;

2) эффект размера рынка. Чем больше рынок, открытый перед инновационным продуктом, тем больше стимулов вкладывать в инновации. Поскольку рынок в данном случае состоит из работников, использующих новые технологии, и производств, использующих в большей мере воду, но также закупающих технологии, этот эффект действует в сторону развития фактора, имеющегося в избытке. Отсюда, как V_Z , так и V_L растут по Z и L .

Заметим, что рост относительного предложения факторов, т. е. Z/L , сопровождается обоими этими эффектами, поскольку с увеличением Z/L относительная цена $p \equiv p_Z/p_L$ падает. Равновесное направление технологического изме-

нения — как в случае редкого, так и в случае изобильного ресурса — определяется действием именно этих двух эффектов.

Остановимся подробнее на этих эффектах. Подставим выражение (10) в производственные функции (5) и (6). Тогда верны равенства:

$$Y_L = \frac{1}{1-\beta} p_L^{\frac{1-\beta}{\beta}} N_L L; \quad Y_Z = \frac{1}{1-\beta} p_Z^{\frac{1-\beta}{\beta}} N_Z Z. \quad (15)$$

Подставим их в (7) и, преобразовав выражение, получим относительную цену двух товаров как функцию от соотношения N_Z/N_L и относительного предложения факторов:

$$p = \left(\frac{1-\gamma}{\gamma} \right)^{\frac{\beta\varepsilon}{\sigma}} \left(\frac{N_Z Z}{N_L L} \right)^{-\frac{\beta}{\sigma}}. \quad (16)$$

Здесь ε — это эластичность замещения товара Y_L товаром Y_Z , а σ — (зависящая) эластичность замещения между факторами Z и L , $\sigma \equiv \sigma - (\varepsilon - 1)(1 - \beta)$.

Заметим теперь, что $\sigma > 1$ тогда и только тогда, когда $\varepsilon > 1$, то есть когда оба фактора являются несовершенными заменителями. Теперь, используя выражения (14) и (16) и предположив, как и раньше, устойчивое состояние системы, перепишем относительную прибыльность создания новых Z -дополняющих технологий таким образом:

$$\frac{V_Z}{V_L} = p^{\frac{1}{\beta}} \frac{Z}{L} = \left(\frac{1-\gamma}{\gamma} \right)^{\frac{\varepsilon}{\sigma}} \left(\frac{Z}{L} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}. \quad (17)$$

Теперь видно, что $p^{1/\beta}$ — это и есть эффект цены, а Z/L — эффект размера рынка. Записанное в таком виде выражение показывает, что относительная прибыльность двух типов инноваций определяется этими эффектами. Рост относительного предложения факторов, Z/L , растет по V_Z/V_L , пока эластичность замещения между факторами, σ , превышает единицу, и наоборот. Таким образом, эластичность замещения регулирует то, какой из эффектов в данной ситуации доминирует. Если доминирует эффект цены, это стимулирует агентов увеличивать производительность редкого фактора. Если же факторы — несовершенные субституты, то доминирует эффект размера рынка и улучшается производительность фактора, имеющегося в изобилии.

Именно это мы и наблюдаем в Израиле. Производительность редкого ресурса увеличивается — разрабатываются различные схемы экономии воды, технологии, позволяющие с минимальным ее количеством произвести максимальное количество продукции (капельное орошение здесь — ярчайший пример). Потери воды вследствие несовершенства средств доставки стараются свести к минимуму. Если оказывается, что разница между тем объемом воды, что поступил к «воротам города», и той, которую потребили домохозяйства, составила 10% и более, принимаются срочные меры по снижению этих потерь. Технологии развиваются в направлении увеличения производительности ограниченного ресурса. Поскольку относительная цена воды высока, а предельный продукт высокотехнологичного сектора тоже относительно велик, происходит одновременно и замещение воды тем ресурсом, который используется в хайтеке, — это люди, их интеллектуальные способности. Технологии становятся «навыкоразвивающими» и «водозамещающими», используя терминологию Д. Асемоглу. Для Израиля такое развитие действительно критично, поскольку запасы воды имеют тенденцию к истощению — не только из-за несанкционированного выкачивания подземных вод палестинцами и построения дамб на севере соседними государствами, но и из-за того, что климат на Ближнем Востоке постепенно становится все более и более засушливым (Fleisher, 2008).

Источники

- Acemoglu D.* Directed technical change. MIT, 2002.
- Barbier E. B.* Natural Capital and the Economics of Environment and Development // Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability / ed. by A. M. Jansson, M. Hammer, C. Folke, R. Costanza. Washington, 1994.
- Bental B., Peled D.* Quantitative Growth Effects of Subsidies in a Search Theoretic R&D Model // Report STE-WP 16. 2002. University of Haifa, 2002.
- Dasgupta P. S., Heal G. E.* The Economics of Exhaustible Resources. Cambridge, 1979.
- Fleischer A., Lichtman I., Mendelsohn R.* Climate change, irrigation, and Israeli agriculture: Will warming be harmful? // Ecological economics. 2008. N 65. P. 508—515.
- Homer-Dixon T. F.* The Ingenuity Gap: Can Poor Countries Adapt to Resource Scarcity // Population and Development Review. 1995. N 3. Vol. 21. P. 587—612.
- Kislev Y.* The Water Economy of Israel. Hebrew University, 2001.
- Lucas R. E.* On the Mechanics of Economic Development // Journal of Monetary Economics. 1988. Vol. 22. P. 3—42.
- Rebelo S.* Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth // Journal of Political Economy. 1991. N 3. Vol. 99. P. 500—521.
- Romer P.* Increasing Returns and Long-Run Growth // Journal of Political Economy. 1986. N 5. Vol. 94. P. 1002—1037.
- Romer P.* Endogenous Technological Change // Journal of Political Economy. 1990. N. 5 Vol. 98. P. S71—S102.
- Romer P.* Two Strategies for Economic Development: Using Ideas and Producing Ideas // Proceedings of the World Bank Annual Conference on Development Economics, 1992. Washington, 1993. P. 63—91.
- Senor D., Singer S.* Start-up Nation. The story of Israel's Economic Miracle. N. Y; Boston, 2009.
- Stiglitz J. E.* Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths // Review of Economic Studies, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources. 1974. P. 123—138.
- Trajtenberg M.* R&D Policy in Israel: An Overview and Reassessment / NBER Working Paper 7930. 2000. Oct.