

Ендогенен модел на устойчивото развитие и опазването на околната среда

Юли Радев*

Резюме: Ендогенният модел на устойчивото развитие и опазването на околната среда е алтернатива на неокласическите модели. Моделът се нарича ендогенен, тъй като икономическият растеж се описва в рамките на модела на база човешкия капитал и познанието. Освен това, природните ресурси се представят от гледна точка на биофизичните закони. Все пак, се запазва неокласическото правило за устойчиво развитие и опазване на околната среда – постоянно потребление и постоянно ниво на оставащите природни ресурси, осигуряващи благоприятна среда за живеене.

Ключови думи: ентропия, околна среда, ендогенен икономически растеж, благоприятна среда за живеене.

JEL: O10, Q01, Q32, Q50.

Публикацията представлява синтезиран анализ на най-популярните ендогенни модели на растежа и опазването на околната среда¹. Взаимната зависимост между икономическия растеж и природните ресурси се моделира, като физическите и стойностните величини на икономическата активност се представят като различни концепции. Акумулирането на природни ресурси е ограничено от биофи-

зичните закони, и по-конкретно от закона на ентропията. Икономическата стойност обаче може да нараства като резултат от заместването на природните ресурси с репродуктивните човешки ресурси. Характеристиките на познанието, което е първичен човешки ресурс, предпоставят неограничен процес на създаване на ново познание. Комбинирането на различни концепции в обобщаващия ендогенен модел позволява да се анализират нови аспекти на природните ресурси като намаляване на замърсяването, критичното ниво на благоприятната среда за живеене и т.н.

1. Въведение

Анализите на неокласическите модели на устойчивото развитие и опазването на околната среда показват, че структурата, растежът и промяната на развитите икономики обслужват основно сегашните поколения. Ако, заради ограничеността на природните ресурси, траекториите на потреблението и инвестициите се отклонят от устойчивите писти, това най-вероятно ще предизвика (макар и с известно забавяне) разрушаване на околната среда и намаляване на материалния стандарт на живот на бъдещите поколения. Допускайки, все пак, че загрижеността за бъдещите поколения е достатъчно голяма, такъв сценарий няма да е оптимален. От морална гледна точка неустойчивото развитие е несправедливо спрямо бъдещите поколения.

* Юли Радев е доктор, доцент в катедра "Икономика и управление" на МГУ „Св. Ив. Рилски“, e-mail: radev@bgs.bg

¹ Публикацията е повлияна най-вече от Смълдерс (1995) и Смълдерс и Градус (1993).

Затова и най-важното предизвикателство пред обществото е икономически растеж, който да осигури ненамалващо потребление в дългосрочен план (Солоу, 1974). Проблемът е, че материалният растеж и научният прогрес много често и с основание са критикувани за това, че причиняват негативни екологични и обществени ефекти. Все пак, историята показва, че човечеството винаги се е опитвало, и най-често е успявало, да подобри условията за живот с икономически средства.

Икономическата наука търси отговор на дилемата икономически растеж и опазване на околната среда едновременно, използвайки различни подходи. Основното икономическо течение, неокласическа икономическа теория, насочва вниманието към изчерпаемите ресурси, като в основата на анализа стоят ценовият механизъм и възможността за заместване на природните ресурси с направения от човека капитал.

Алтернативната гледна точка е да се анализира икономическите приложения на термодинамичните закони и екологията (Дейли, 1973, Джорджеску-Ройген, 1971, 1975). Този подход подчертава ограниченията, които физическите и природните процеси налагат на икономическата активност, както и трудностите, свързани с конструирането на ценовия механизъм, имайки предвид, че установяването на правата на собственост върху природните ресурси често е невъзможно. В тази статия ще демонстрираме, че двете гледни точки могат да бъдат обединени, и което по-важно, съгласувани в модела на ендогенния растеж (Ромер, 1986). Основната концепция в така получената аналитична рамка е нетривиалното тълкуване на познанието и инвестициите в създаването на познание.

В така получената рамка Познанието и материята/енергията са най-важните производствени фактори в икономическия процес. И докато материята и енергията са обект на биофизичните закони, използ-

ването и нарастването на познанието се подчиняват на свои собствени характерни закономерности. В крайна сметка, взаимодействието между социалните/психологически/икономически и биофизичните ограничения е това, което определя възможността за устойчиво развитие на икономическия процес. Заместването на материята с познание позволява да се получи по-голяма стойност от дадено физическо количество материя (материал) в икономиката. Ето защо устойчивото развитие изисква освен внимателно управление на природните ресурси, и специално отношение към създаването на познание.

Раздел 2 разглежда концепциите, които са свързани с икономическия растеж и опазването на околната среда. Обоснован е критерият, според който природните ресурси участват в модела на икономическия растеж. Именно този критерий показва защо физическите величини трябва да се отделят от икономическите. Физическите величини са ограничени от законите на термодинамиката (консервирането на енергия/материя и законите на ентропията). Раздел 3 представя и анализира основната структура на формалния ендогенен модел на устойчивото развитие и опазването на околната среда. Този модел съдържа три строителни блока: (1) Функция на предпочитанията; (2) Екологична функция; и (3) Производствена функция. Основните връзки между отделните блокове са също три. Първо, стоките и благоприятната среда за живеене, които природите ресурси създават. Второ, дейностите за намаляване на замърсяването на околната среда, и трето, разработване на технологии (познание), които увеличават използваните в производството природните ресурси. Ще покажем при какви условия е възможен дългосрочен растеж и ще развием модела с допълнителни аспекти на замърсяването. В раздел 4 са обобщени приложенията на представената аналитична рамка за об-

ществениите финанси, както и някои важни въпроси, обект на бъдещи изследвания.

2. Нови концепции за природните ресурси, познанието и икономическия растеж

Икономическата система отбелязва растеж, когато във всеки отделен период се увеличава стойността на благосъстоянието на хората. Мярка на този растеж са реалните цени, които отразяват желанието на потребителите да платят за търгованите стоки и услуги и които участват в определянето на брутният национален продукт (или нетен национален продукт като по-коректна мярка на полезността), БНП. Все пак, дейностите извън официалната икономика също влияят върху БНП, затова той невинаги измерва общото благосъстояние. Примери за неофициални икономически действия са криминалните деяния, социалните катаклизми и, разбира се, екологичните проблеми.

Екологичните проблеми се проявяват, когато качеството на околната среда се понижава – ресурсите се изчерпват, екосистемите се разрушават, а някои видове престават да съществуват. Като резултат, физическите условия за живот се влошават. Тъй като икономическата активност зависи от околната среда (околната среда е източник на ресурси, които участват в създаването на икономическа стойност), икономическият растеж и физическите условия на околната среда влизат във взаимодействие помежду си. Икономическата активност може да причини проблеми на околната среда, но и влошаването на физическите условия може да навреди на икономическата активност.

В анализа на взаимодействието между проблемите на околната среда и икономическия растеж, екологичният процес, който се измерва във физически величини, трябва да се разглежда по концептуално различен

начин от икономическия процес, който се измерва в икономическа стойност. И двата процеса се подчиняват на свои собствени закономерности. Екологичният процес се описва с биофизичните закони, отнасящи се до промените на физическите състояния и условия на биомасата, материята и енергията. Докато създаването на икономическа стойност представлява процесът, с който хората комбинират своите способности и творчество с природните ресурси, за да произведат желаните и търсените на пазара стоки и услуги. Затова създаването на стойност зависи от технологията и предпочитанията, които, от своя страна, могат да се разглеждат като резултат от развитието на човешкото познание².

Околната среда е ограничена във физическия смисъл на гумата, затова няма как качеството на въздуха или земната кора да се подобряват постоянно. По принцип земята е затворена система спрямо материята. Разбира се, с изключение на метеоритите, които добавят материален ресурс към земята, и на действията на хората, които изпращат материя в пространството.

Джорджеску–Роиген (1971) за първи път използва законите на термодинамиката в икономиката. Според първия закон на термодинамиката (закон за консервирането на материя/енергия), в производствения процес, както във всеки друг процес на трансформация и пренареждане, материята нито се губи, нито се създава. Според втория закон на термодинамиката (законът на ентропията), трансформацията или пренареждането на материята и енергията във всички случаи води до необратим преход от свободна и достъпна енергия

² Моделите на ендогенния растеж, както и моделите на предизвикания технологичен прогрес, ендогенезират промените в предпочитанията и технологиите, представяни обикновено като екзогенно изменение на параметрите във функциите на полезността и производството, с добавянето на производствения фактор познание (в т.нар. "мета" функции).

към ограничена и недостъпната енергия. Материята започва да се разсейва (или разпръсква) безвъзвратно, което я прави по-малко достъпна. Трансформацията води до нарастваща ентропия, която може да се възприеме и като индекс на недостъпната енергия на дадена термодинамична система в определен момент от нейната еволюция (Джорджеску-Ройген, 1971, с. 351). Използването на нискоентропна енергия в производството неизбежно води до високоентропна енергия в крайния продукт (включително отпадъците). Всички видове енергия постепенно се трансформират в топлина, която накрая е толкова разсеяна, че се превръща в неизползваема (Джорджеску-Ройген, 1971, с. 352). Ние не можем да използваме едно и също количество енергия или материя отново и отново, именно защото трансформацията на енергия е ентропен процес. Ако в една затворена система трансформацията означава разсейване на материя, преподреждането на тази материя изисква допълнителна енергия от външен източник. Или както твърди Дейли (1992, с. 92), неподредената материя изисква повече енергия за обработка.

За щастие, от гледна точка на енергията, земята е отворена система. Във всеки момент от времето слънчевата енергия достига до тази система. Слънчевото излъчване всъщност осигурява енергията, необходима за компенсиране на ентропните процеси на земята, затова природните ресурси са възобновими. И така, докато процесите на трансформация на природата и хората водят до разпръскване на достъпната материя, новият приток на енергия компенсира ентропията, тъй като носи енергия, която събира отново разпръснатите материя и енергия. Това обяснява защо екосистемите са в равновесие и защо ресурсите са възобновими. „Основната характеристика на живота е, че той е отворена система, която приема ниска ентропия от околната среда и предава ви-

сока ентропия обратно в околната среда, поддържайки по този начин неговата ясно подредена структура в едно квази устойчиво състояние” (Дейли, 1992, с. 94). И още „Една подсистема може да поддържа, и дори да понижава, своята ентропия чрез абсорбиране, ако това е възможно, на свободна енергия (с други думи, ниска ентропия) от нейната околна среда” (Джорджеску-Ройген, 1971, с. 193).

Притокът на слънчева енергия, която достига до земята, все пак, е фиксирана и е извън човешкия контрол. Затова и компенсирането на ентропния процес е ограничено. Законът на ентропията, в комбинация със съществуването на ограничен фиксиран енергиен приток отвън, означават, че природните ресурси са ограничени в абсолютни мерни единици (Дейли, 1987). Именно този приток ограничава създаването на полезни нискоентропни природни ресурси. Цялата история на земята показва, че ние не можем да използваме нищо повече от нискоентропните ресурси, които ограничават приток отвън създава. Тази констатация се отнася както за възобновимите, така и за изчерпаемите ресурси. И двата вида ресурси, в крайна сметка представляват наличности от съхранена слънчева енергия.

Изводът за ограничените възможности на процеса на създаване на природни ресурси ни насочва към нови идеи за подобряване на устойчивото развитие. Очевидно е, че трябва да се разчита във възможно най-голяма степен на онези форми на енергия и материя, които са най-ефективни по отношение на използването на слънчева енергия. Освен това, стимулирането или минимизирането на ентропните процеси трябва да се извършва много внимателно. Трансформирането на нискоентропните производствени фактори във високоентропна продукция следва да остане в границите, наложени от притока на нова енергия, за да се поддържа (квази) устойчиво

Икономическо развитие

чивото състояние на икономиката спрямо физическите потоци и наличности. По подобен начин Дейли (1973) дефинира устойчивата икономика като състояние, в което физическото богатство и населението се поддържат постоянни.

Въпреки че физическите закони трябва да се прилагат в анализа на околната среда и природните ресурси, тези закони не могат да обяснят икономическия растеж. Без съмнение икономическата дейност (особено производството) притежава важни физически характеристики (обем, маса, или количествата стоки). Тя обаче е нещо повече от обикновена трансформация на свободна енергия в ограничена енергия, и е нещо повече от обикновено пренареждане на материята, която по презумпция е ентропна. Трябва да се има предвид, че производството е икономическо, когато трансформира ниско стойностните производствени фактори във високо стойностна продукция. Или както твърди Джорджеску-Ройген (1971, с. 282), истинският резултат от икономическия процес не е физическото изтичане на отпадъци, а полученото удоволствие от живота. Според него, само когато добавим тази концепция към аналитичния инструментариум, ще попаднем в света на икономиката. Без нея няма как да открием реалните източници на икономическа стойност.

С други думи, докато сферата на околната среда определя физически състояния и условия на природните ресурси, икономическата сфера определя тяхната стойност чрез приноса им към удоволствието от живота. Това е причината индикаторите на икономическата активност да измерват икономическата стойност, а не физическите количества. Така, въпреки че растежът, измерван във физически единици, е ограничен, от гледна точка на стойността, той може да се окаже неограничен. Според Дейли (1993, с. 17) „стойността може да расте постоянно във времето, но физиче-

ската маса, която я съдържа, трябва да съответства на устойчивото състояние на икономиката, и растежът да се съобрази с постоянството на физическите величини”.

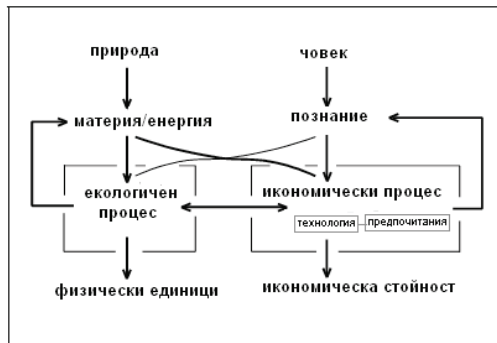
Въпреки физическите ограничения обаче, икономически растеж може да се осъществи чрез създаването на по-висока стойност от едно и също количество (ниско ентропна) материя и енергия.

Системата, в която се осъществява икономическа дейност, може да се представи като взаимодействие между две сфери – природна и човешка, като всяка сфера осигурява определени производствени фактори и генерира определени крайни продукти. Боулдинг (1966) прави полезно разграничение между информация, материя и енергия, като ги представя като трите важни входни и изходни елементи на всяка система. Очевидно материята и енергията са специфични за природната система, докато информацията или познанието (терминът, който се възприема в литературата за ендегенния растеж) се осигурява от човешката сфера. Човешките взаимоотношения участват в тази система, осигурявайки познание, материя и енергия.

Икономическият процес комбинира човешките производствени фактори (познанието) и природните производствени фактори (материята/енергията) за производството на икономически стоки. И двата вида производствени фактори са необходими. Няма как икономиката да произвежда стоки само с единия вид производствени фактори. Комбинацията от познание и материя/енергия произвежда нови входни/изходни елементи, каквито са физическият капитал (който е познание, превърнато в материя), труд (който е познание, свързано с човешка енергия), добити и преработени природни ресурси (например желязна руда и стомана), стоки за крайно потребление и т.н. Размерът и съставът на наличното познание определя производителността на природни ресурси в създаването на икономическа стойност.

Икономическо развитие

На фигура 1 е представена концептуалната рамка на ендогенния модел на устойчивото развитие и опазването на околната среда. Икономическият процес съдържа в себе си технологията и предпочитанията. Технологията показва как комбинирането на физически фактори и познание произвежда стоки и услуги с определени характеристики. Предпочитанията се формулират около тези характеристики, имайки предвид, че полезността се определя не от физически количества, а от удоволствието, получаващо от стоките.



Фигура 1. Концептуална рамка

Ентропните и икономическите процеси се различават фундаментално един от друг. Всъщност, ентропията и икономическата стойност нямат никаква връзка помежду си. Много нискоентропни видове материя и енергия са безполезни от икономическа гледна точка, само защото обществото не знае как да ги използва продуктивно. Когато са появят нови познания, производителността на икономиката нараства, без да се променят физическите условия. Типичен пример за това е заместването на един ръчен домашен уред с автоматичен. От гледна точка на физиката, ентропните процеси деградират енергия, превръщайки концентрираната (подредена) енергия в разсаяна (неподредена) енергия. Все пак, нивото на познание определя достъпната

Ендогенен модел на устойчиво развитие

енергия, която се използва за икономически цели.

Как дискутираните досега физически и стойностни величини влияят върху икономическия процес и най-вече върху икономическия растеж? Един от начините за постигане на икономически растеж е като се увеличава количеството на природните ресурси, използвани в производството, а познанието на производствените характеристики на тези ресурси остава непроменено. Този растеж, често наричан „повече от същото“, неизбежно води до изчерпване на ресурсите и наличността от дълготрайни енергийни видове, получени благодарение на закона за ентропията. В такива случаи производството е с намаляващи възвращаемости от мащаба, тъй като по-бързото пренареждане на материята според познатите процедури изисква все повече и повече енергия, а тя в крайна сметка е постоянен фактор.

Вторият вид растеж включва нарастване на познанията относно производителността, а оттук и на полезността от даден поток материя/енергия. Така полученият технологичен прогрес позволява неограничен икономически растеж, без да се нарушават физическите условия на околната среда. Със сигурност ще предпочетем, например, да ползваме по-малките и по-усъвършенствани мобилни телефони, вместо големите и тежки старомодни апарати. С разработването и внедряването на нови познания може едновременно да се намалят необходимите материали за производството на стоката и да се повиши нейната потребителска стойност. Новите технологии могат също да повишат производителността на отпадъчните продукти, например чрез намиране на полезно приложение на продукти, които преди това са разглеждани единствено като отпадъци. Така, новите познания могат да намалят икономическата оценка на степента на ограниченост или недостъпност на енер-

гията/материята. Не на последно място, новите познания превръщат безполезните природни ресурси в ценни икономически стоки (Янг, 1991).

Можем да обобщим, че неограниченият икономически растеж зависи от законите, свързани с натрупването на познание. Настоящем литературата, посветена на икономическия растеж, преразглежда концепцията за познанието и начина на създаване на познание. Пионерът в тази литература, Пол Ромер (1990a, 1990b, 1994), основава своя анализ на внимателно концептуален прочит, включващ познанието. Според Ромер, основна характеристика на познанието е неговият неконкурентен характер. Веднъж създадена, идеята може да се използва от много хора на много места в различно време, без това да води до износване или претоварване.

Използването на идеите не само че не трансформира и деградира общата наличност от познания, но обикновено увеличава тази наличност. Това контрастира много ярко спрямо физическия закон на ентропията. Познанието ражда познание. Новите идеи се инспирират от по-старите идеи. Колкото повече една идея се използва от другите, толкова по-вероятно е тя да доведе до нови прозрения. Старото познание създава ново познание, а познанието създава познание, което ще създаде познание (Стиглиц, 1987). Въпреки че никога няма да можем да твърдим със сигурност (тъй като говорим за непознати неща, като новите технологии), човешката съзидателност най-вероятно е неограничена.

Все пак, новото познание не идва просто така. В повечето случаи, създаването на познание изисква усилия и отнема време. Затова обикновено преди да се получат ползите, се правят разходи. Изобретението и иновацията са резултат на инвестиции. В концептуалната рамка, представена на фигура 1, разходите за създаването на познание неминуемо имат физическо изме-

рение (както всички икономически стоки), което може да се оцени с природните производствени фактори. Разходите, свързани с използването на познанието като производствен фактор, са равни на нула, тъй като познанието е неконкурентен фактор. Създаването на познание обаче изисква конкурентни фактори. Затова създаването на познание е свързано с процеса на ентропия.

Създаването на познание, поне до известна степен, е част от икономическия процес и затова е свързано с икономическата мотивация. Фирмите целенасочено се стремят да разработват нови технологии и продукти. Търговските изследвания и разработки също увеличават наличните познания. В отделни ситуации технологиите са и страничен продукт на икономическата активност, получен посредством учене-чрез-правене.

На таблица 1 е обобщен дотук представеният анализ. Сега вече можем да обединим различните концепции и да дефинираме таква устойчиво развитие, което е съвместимо с изискванията, обобщени в таблицата. Получената рамка синтезира идеите от три важни подхода. Първо, биофизичните закони показват, че устойчивата икономика е стационарно състояние по отношение на физическите характеристики (равновесното състояние на Дейли). Второ, изводите от моделите на ендогенния икономически растеж, показват, че ендогенното акумулиране на познание може да допринесе за растежа на такава икономика. Трето, неокласическите принципи показват ефектите от цените, данъците и други стимули за използване на ресурсите, както и посоката и скоростта на натрупване на познание.

Таблица 1. Критерии за моделиране на взаимодействието между растежа и екологичните последици

1.	Променливите на околната среда се изразяват най-добре със своите физически оценки.
2.	Физическата оценка на природните процеси зависи от законите на термодинамиката, което предполага, че заради притока на външна (слънчева) енергия, растежът на природните ресурси е ограничен.
3.	Икономическият растеж се изразява най-добре с оценките на икономическа стойност
4.	Познанието и природните ресурси са важни за икономическото производство.
5.	Без създаването на познания, траекторията на икономическия растеж е с намаляваща възвращаемост от мащаба, заради законите на термодинамиката.
6.	Познанието е творение на човека и в много отношения е без конкуренция.
7.	Създаването на познания изисква инвестиции, които, от своя страна, изискват природни производствени фактори
8.	Създаването на познания не би трябвало да е обект на намаляваща възвращаемост

Използването на ресурсите и грузите физически аспекти на икономиката може да се повлияе от ганък замърсяване, с който се облагат частните производствени фактори, енергията, материалите и гр. Все пак може да се окаже трудно да се прогнозира какви нива на ганъците ще доведат до постоянни физически измерения, каквото е условието за устойчивост на икономиката. Според Бовенберг и Смългерс (1994) алтернативата, да се издадат постоянен брой разрешителни за добив или разрешителни за замърсяване, които се търгуват на пазара, гарантира постоянство на физическите величини в икономиката и в същото време предпазва ролята на цените да мотивират и свързаната с това ефективност. Така получената оценка на ограничеността на ресурсите стимулира частните инициативи за почистване на заобикалящата ни среда и разработването на технологии за търсене и проучване на нови ресурси (Вердиер, 1993). Новите производствени

технологии, които увеличават средната ресурсна интензивност на производството, много бързо стават неефективни, затова технологичният прогрес трябва да се коригира в посока устойчивото развитие. Несъвършенствата в защитата на патентите, общото разпространение на познанието, имитациите, случайният характер на технологичните подобрения, които се появяват като вторичен продукт от икономическата активност, предизвикват странични ефекти в процеса на създаване на познание, които би следвало да се компенсират с технологични субсидии или публично финансиране.

Технологичният прогрес може да се окаже бабен и скъп, затова растежът невинаги е устойчив. А дори такъв растеж да е възможен, той невинаги е оптимален. Ако нормата на времевите предпочитания е голяма, бъдещите (екологични и икономически) загуби лесно се компенсират с високо сегашно (неустойчиво) потребление. В такива случаи обществото не е склонно да инвестира достатъчно, за да гарантира ненамаляващо потребление и благоприятна среда за живеене. Очевидно, силната зависимост от изчерпаемите ресурси ограничава възможностите за устойчив растеж. Все пак, поне до определено ниво производството може да се поддържа, като се ангажират единствено възобновими ресурси. От тази гледна точка, по-вероятно е да постигне устойчиво производство, когато се разчита на успеха и желанието да се инвестира в нови технологии, подобряващи ефективността на ползване на ресурсите (възобновими и изчерпаеми), вместо в ограничителни технологии.

3 Ендогенен модел на устойчивото развитие и опазването на околната среда

Формалните модели, в които се използват изискванията в таблица 1, изучават

Икономическо развитие

последниците на биофизичните ограничения и създаването на познание за устойчивото развитие и растежа. В този раздел ще представим как концепциите, дискутирани по-горе, могат да се включат в модели, които приемат стандартните (неокласически) допускания за максимизиране на полезността и печалбата.

През последните години се появиха множество модели, които съвместяват ендегенното развитие и опазването на околната среда. Общото между тях е, че структурата на моделите обикновено съдържа три строителни блока (виж фигура 1). Блокът на предпочитанията (функцията на полезността) представя как оценъчната система определя стойностите на природните и направените от човека стоки. Екологичният блок описва зависимостта на променливите на околната среда от икономическите променливи, както и механизмите на обратна връзка. Технологичният блок (производствената функция), представящ производството на икономически стоки от природни и направени от човека производствени фактори.

Стрелките на фигура 1 показват възможните взаимодействия между трите блока. Околната среда, например, влияе върху блока на предпочитанията, тъй като качествена природа създава благоприятна среда за възстановяване и затова участва във функцията на полезността. Тя разбира се, има и производствена стойност и участва в производствената функция. Качеството на природата влияе върху нейния регенеративен капацитет и животноподържащите системи, ето защо в една добре функционираща икономика това качество трябва да е над определено критично ниво. Икономическата активност, от своя страна, влияе върху околната среда, като използва природни производствени фактори. Замърсяването и добивът на (възобновими) ресурси предизвиква ентропни процеси, намаляващи качеството на окол-

ната среда. Освен това, икономическата дейност предпазва възобновимите ресурси, разпределяйки материя и енергия, които компенсират ентропните процеси (спестяващи технологии и рециклиране). В същото време разработването и прилагането на екологични технологии намалява бъдещия натиск на икономическата дейност върху околната среда.

3.1 Формално представяне на модела

Най-обикновеният модел, който посреща критериите в таблица 1, съдържа по едно уравнение за всеки отделен блок. Следвайки Смълдерс (1995), моделът може да се представи по следния начин:

$$J = \int_{t=0}^{\infty} U(C, H, Z) e^{-\rho t} dt$$

интертемпорална полезност (1)

$$\dot{N} = E(Z, R) - X$$

растеж на природните ресурси (2)

$$\dot{H} = Y(Z, X, H) - C$$

създаване на познания (3)

За да отговарят на критериите, условия (1) ÷ (3) трябва априори да се подчиняват на следните ограничения:

Закон на ентропията:

$$E(0, R) \leq E(Z, 0) < 0, E_{R0} > 0,$$

при загадено R_0 ;

Производствени фактори:

$$Y(0, X, H) = Y(Z, 0, H) = Y(Z, X, 0) = 0;$$

$$U(0, H, Z) = U(C, 0, Z) = -\infty;$$

$$Y_Z \geq 0, Y_X > 0, Y_H > 0, U_C > 0, U_H > 0, U_Z \geq 0;$$

Други ограничения:

$$X \geq 0, C \geq 0, H \geq 0, Z \geq 0; Y \geq 0;$$

при загадени $Z(0), H(0)$,

където C е потреблението, $U()$ е функцията на полезността, Z е индикатор на

природните ресурси (или екологично качество), измервани във физически единици, ρ е нормата на времевите предпочитания, R е екзогенният свободен приток на слънчева енергия, X представлява природните ресурси, които се трансформират (което изисква ентропия) в икономическа дейност, Y е икономическият продукт (активност), а H е наличността от (от произведените от човека) познания, като всички променливи зависят от времето t .

Блокът на предпочитанията се моделира с функцията на полезността (1). Потреблението и благоприятната среда за живеене са променливите във функцията на полезността (Крауткремер, 1985). Стойността на благоприятната среда за живеене, която потребителите извличат от околната среда (Z), зависи от познанието (H). Удоволствието от висококачествената природа означава неизчерпаемо използване на природните ресурси. Това потребление не изисква ентропия, тъй като гледането и насладата от запазената околна среда не я трансформира по никакъв начин³.

Следвайки закона на ентропията, уравнение (2) (екологичният блок) показва, че нови природни ресурси (т.е. енергия/материя, Z) се създават само с трансформиране на външния енергиен поток R в налична енергия/материя Z . Природните ресурси Z може да се използват в производството, но това означава трансформация и следователно ентропия. Добивът и ползването (т.е. ентропната трансформация) на Z в икономическата дейност се представя от X , което води до понижение на Z . Особено в този модел е, че X обединява в себе си както добива на природни ресурси

³ Моделът лесно може да се разшири за конкурентно потребление на благоприятни среди за живеене, така че да се отразят неблагоприятните ефекти от туризма, например. Макар че туристическите услуги се произвеждат и търговат по такъв начин, че туризмът участва в $Y(\cdot)$ и C .

(в който Z участва като източник), така и изхвърлянето на отпадъците (в което Z участва като депозит), тъй като и двете дейности водят до понижаване на наличното количество от (нискоентропни) природни ресурси.

Без гобивна дейност ($Z=0$) и с постоянен приток на енергия R , динамиките на екологичното качество се определят от процеса на естествена регенерация $E(\cdot)$. Функцията на естествената регенерация $E(Z, R)$ е вдлъбната в N (т.е. тя е обратно U-образна). Затова, колкото по-голяма е наличността от високоентропни ресурси, толкова по-бързи са ентропните процеси и по-трудно може да се компенсират ентропните процеси с фиксирания външен енергиен приток R . Естествената стабилно равновесие е „чистото“ състояние, което ще означаваме с $\bar{Z}(0)$. Тъй като постоянният външен енергиен приток R не може да поддържа постоянно нарастваща ресурсна наличност вследствие на законите на термодинамиката, в равновесното състояние ресурсната наличност или качеството на околната среда е ограничена и постоянна. Ако икономическата активност трансформира природните ресурси чрез гобив на ресурси и съхранение на отпадъци (т.е. ако $Z>0$), ентропните процеси се ускоряват. Имайки предвид, че енергийният приток R вече не е достатъчен да компенсира ентропните процеси, чистото състояние на природните ресурси няма как да съществува дълго. Затова, при постоянно ниво на гобив X се достига до равновесие на околната среда с по-ниско екологично качество, $\bar{Z}(X)<\bar{Z}(0)$.

Технологичният блок се загава с уравнение (3). Производството (R) се разпределя между потребление (C) и инвестиции в ново, направено от човека, познание (H). Затова създаването на познание изисква инвестиции. Производствената техноло-

гия $Y(\cdot)$ използва човешки производствен фактор (H) и природен производствен фактор (X). Z също участва в производствената функция, тъй като по-високото екологично качество прави икономиката по-продуктивна. Например, високото качество на околната среда влияе благоприятно на човешкото здраве, което стимулира производителността и креативността на труда. Този производствен аспект на природата е характерен пример за неконкурентно и неизчерпаемо потребление. Така, един и същи озонов слой защитава всички индивиди на земята, независимо от техния брой. Биодиверсификацията консервира генетична информация, насърчавайки изследването на нови продукти и нови приложения на природните ресурси, независимо от това колко изследователи изучават околната среда. Използването на подобни аспекти, по никакъв начин не изчерпва природните ресурси. С други думи, не протичат никакви (или те са пренебрежимо малки) ентропни процеси. Обратно, използването на енергия и материя (означен с X) е обект на конкуренция (в определен времеви момент един и същи джаул енергия може да се използва само от един производител) и води до изчерпване на природните ресурси.

3.2 Оптимални условия за икономически растеж

Ако производството, инвестициите и процесът на взимане на решение генерират нови идеи, а разпространението на познанието насърчава по-нататъшната креативност, намаляващата възвращаемост от създаването на познание, описана по-горе, може да се преодолее. При постоянна възвращаемост на производството спрямо човешкото познание, участващо като производствен фактор, и при условие, че другите фактори са постоянни, ако приемем, че S_H е постоянният дял от икономическата активност, посветена на създаването на

познание, можем да изведем следните уравнения:

$$Y(Z, X, H) = y(Z, X) * H \quad (4)$$

$$C = (1 - s_H) * Y(\cdot) \quad (5)$$

Замествайки $Z = \bar{Z}(X)$ (допускайки, че в (1) $\dot{Z} = 0$), както и (4) и (5) в (2), ще изведем следното уравнение за възможен дългосрочен растеж на познанието:

$$\dot{H}/H = S_H. \quad (6)$$

При постоянно конкурентно използване на природните ресурси (т.е. при $\dot{X} = 0$), нормата на нарастване на познанието \dot{H}/H е постоянно и положително число. Освен това, нормите на нарастване на потреблението (C) и икономическата активност (Y), измервани в икономически единици, са равни на \dot{H}/H и следователно също са постоянни и положителни числа. В същото време, качеството на околната среда (Z), измервано във физически единици, е постоянно. Това означава, че създаването на познание стимулира икономиката, без негативни последици за околната среда.

При намаляваща възвращаемост спрямо направените от човека производствени фактори, в случая H , средната производителност на познанието $Y/H = y(\cdot)$ ще намалява във времето. Човешката изобретателност в този случай намалява с натрупването на познание. Така, растежът постепенно ще се изгуби. Формално, устойчивият растеж е възможен, ако производството показва постоянна възвращаемост спрямо репродуктивните (направени от човека) производствени фактори⁴.

Последното условие е свързано с еластичността на заместването между репродуктивните фактори и другите произ-

⁴ Според Ребело (1991, с. 502) за осигуряването на постоянен растеж е необходимо ядро от капиталови стоки, които се произвеждат от технологии с постоянна възвращаемост от мащаба, и с участието само на репродуктивни фактори.

водствени фактори (σ_Y). Ако човешкото познание, например, не замества добре енергията ($\sigma_Y < 1$), горното условие се нарушава. Когато познанието нараства, а природните фактори остават постоянни, маргиналната производителност на капитала постепенно намалява, докато използването на капитала стане дори безполезно. При ниска степен на заместване максималното производство се ограничава от дефицитния производствен фактор, затова растежът е ограничен от природните ресурси (Дасгупта и Хил, 1974). От друга страна, използваните в производството природни ресурси и познание играят важна роля, само ако еластичността на заместване между тях не надвишава единица. Така, устойчивият растеж изисква единична еластичност ($\sigma_Y = 1$)⁵.

Както е видно от (6), блокът на предпочитанията определя оптималните норма на потребление ($1 - S_H$) и норма на добив X , а оттук и оптималната норма на растежа. Дали устойчивите потребление и добив ще бъдат оптимални (т.е. ще максимализират осъвременената стойност на полезността) зависи от спецификацията на функцията на полезността. Ако маргиналната производителност от инвестицията в направени от човека производствени фактори е постоянна по отношение на производството, и в същото време относителната цена (маргиналната полезност) на произвежданите стоки намалява спрямо тази на екологичните услуги, оптималното решение за обществото е да пренасочи инвестициите от производството към околната среда. Ненарастащите природни ресурси ще стават все по-дефицитни във времето спрямо нарастващото производство на стоки за крайно потребление. В крайна сметка, оптималното разпределе-

⁵ В моделите с повече сектори и повече производствени фактори условията за еластичностите на заместване са по-малко строги.

ние на инвестициите се влияе в две противоположни посоки. Първо, ефектът на дохода, предизвикан от натрупването на производствени фактори, увеличава търсенето на екологични стоки. Второ, ефектът на заместването, предизвикан от нарастващия (относително) дефицит на природните стоки, отмества търсенето от екологичните стоки в посока произвежданите стоки. Ако двата ефекта взаимно се компенсират, има интерес да се поддържат инвестициите в производствен растеж и да се съхранява постоянна физическа част от околната среда. Ако ефектът на дохода доминира, оптималното потребление може да се понижи във времето, докато оптималните инвестиции в околна среда ще нарастнат. Като резултат икономическият растеж ще спре.

3.3 Роля на частните и обществени стоки

Моделът, представен от уравнения 1 ÷ 3, може да се разшири, за да се анализират възможностите на обществената политика да поддържа устойчиво развитие. За тази цел трябва да се направи разлика между частни и обществени стоки. Дотук разграничихме конкурентни от неконкурентни производствени фактори. Направените от човека фактори, като физическо оборудване и труд, са конкурентни, защото когато една единица от тези фактори се ангажира от един производител, тя не може в същото време да се използва от друг производител. По подобен начин следва да се разглеждат и такива природни производствени фактори, като енергия, или груги добивани ресурси, както и използването на околната среда като депозит за отпадъци. Производителите например се конкурират за добитите ресурси. Освен това, когато депозитът се използва от един производител, в същото време то не може да се използва от друг производител. Обратно, някои направени фактори (като познанието) и

природни фактори (като биодиверсификацията и озоновия слой) са неконкурентни. В крайна сметка конкурентността зависи от потреблението на стоката. Стоки, които се потребяват физически, обикновено са конкурентни, докато насладата от чистата природа е неконкурентна.

Моделът, който разграничава природните от направените стоки, както и конкурентните от неконкурентните стоки, е следният:

$$U_j = U(C_j, H, N) \text{ полезност} \quad (7)$$

$$\dot{Z} = E(Z, R) - \sum X_i - X_I$$

растеж на природните ресурси (8)

$$\sum \dot{K}_i + \dot{K}_j = \sum Y_i(Z, X_i, K_i, H) - \sum C_j$$

конкурентни фактори (9)

$$H = k \sum K_i \quad \text{и}$$

$$X_j = \dot{K}_j = 0 \text{ познание} \quad (10a)$$

$$\dot{H} = G(Z, R_i, K_i, H)$$

създаване на познания (10b)

Към символа на конкурентните фактори се добавя индекс i (и I) за да се означава представителната фирма и съответно изследователския сектор, в който се използва факторът. Конкурентните стоки за потребление се индексират с j , за да означава потребителя. Конкурентните фактори, конкурентното потребление и производството на фирмите (Y_i), могат да се обобщат, което е отбелязано със знака за сума. Има два вида направени от човека фактори: конкурентен капитал, K , в това число физически и човешки капитал; и неконкурентното познание, H . Природните ресурси също представляват два вида фактори: X , който представя конкурентното ползване от околната среда⁶, и Z , който е

⁶ Трудът е част от X_j , имайки предвид неговите физически характеристики (трудовите услуги са енергия и се нуждаят от природата Z , за да се регенерират) и

неконкурентният фактор в производството и полезността.

Уравнения (10a) и (10b) описват алтернативните начини за моделиране на създаването на познание (виж раздел 2). Първо, в (10a) познанието се създава като съпътстващ продукт на инвестицията. Този сценарий се въвежда от Ароу (1962) и Ромер (1986) и се прилага в контекста на околната среда от Мишел (1993). Инвестициите изправят променящата се околна среда пред нови предизвикателства и проблеми. Продължителните инвестиции трябва да се свържат с решаването на проблемни ситуации⁷ и ефекта учене-чрез-правене. Това води до натрупване на опит и познание. Фирмите се учат не само от собствената си активност, но и от опита на другите фирми. В този смисъл познанието нараства с нарастването на общите инвестиции в икономиката.

Второ, в (10b) създаването на познание е отделна целенасочена дейност, която се проявява под формата на изследователска работа или образование. В този случай ресурсите се насочват към дейности, които генерират познание. Изследователската дейност произвежда проекти за производство, които се патентоват и продават на фирмите⁸. Дори при липса на пазар за патенти, съществува мотив за частна изследователска дейност, тъй като може да се генерира специфично за фирмата познание, което е недостъпно за конкурентите. Ако изследователите все пак не са в състояние да съберат плодовете на своя труд, например, ако всички фирми оперират на съвършено конкурентен пазар и няма как да се платят постоянните разходи за изследователска дейност, правителството

е част от K_i , имайки предвид, че е човешки капитал (трудът е развил способност да създава стойност).

⁷ Ментални техники, обект на психологията

⁸ Патентът създава монополни позиции, а оттук и монополна печалба, над цената на патента.

трябва да осигури (или да субсидира изцяло) нови познания (Бовенберг, Смълдер, 1994).

Устойчивото развитие е възможно, когато маргиналната производителност на направените от човека производствени фактори остане висока (далеч от нула), дори когато тези фактори надвишават значително използваните в производството природни ресурси $X \equiv \sum X_i + X_l$ и качеството на околната среда Z . По този начин се ограничават производствената технология и тази за създаването на познание. Достатъчното условие за устойчиво развитие е възвращаемостите спрямо направените от човека производствените фактори, K и H , участващи във функциите $Y_i(\cdot)$ и $G(\cdot)$, да са постоянни. Това условие може да се представи като:

$$Y_i(\cdot) = \alpha_Y(Z) * F(K_i, HX_i) \quad (11)$$

$$G(\cdot) = \alpha_G(Z) * f(K_l, HX_l) \quad (12)$$

където $F(\cdot)$ и $f(\cdot)$ са линейни и хомогенни по отношение на двата аргумента функции. Променливата на познанието може да се разглежда и като променлива, увеличаваща природните ресурси, енергията или технологиите за намаляване на замърсяването (по аналогия на увеличаването на труда от технологичния прогрес). Променливата HX е мярка на ефективните природни ресурси, използвани в производството. С други думи, тя трансформира физическата величина на X в икономическа величина и показва колко ценни са ресурсите в процеса на създаване на стойност. Увеличаващото енергията познание замества енергията в ефективните фактори при еластичност на заместването единица. Това означава, че маргиналната производителност на новите технологии (H) не намалява, когато природните ресурси, участващи в производството, остават постоянни. За да се удовлетвори изискване 4 в таблица 1, елас-

тичностите на заместване между HX и X в $F(\cdot)$ и $f(\cdot)$ не трябва да надвишават единица. Постоянните възвращаемости от частния капитал и ефективната мярка на ресурсите, участващи в производството, заедно съставляват необходимото условие за ендогенен икономически растеж. Като алтернатива на този подход ще посочим анализа на Баро, в който неконкурентният, направен от човека фактор се представя отделно в $Y(\cdot)$ и се разглежда като инфраструктура (Баро, 1990).

3.4. Замърсяване и намаляване на замърсяването

В някои модели на устойчивото развитие и опазването на околната среда фокусът на вниманието се измества от добива и благоприятната среда за живеене към щетите и замърсяването на околната среда. Във всички случаи, в които околната среда се моделира като едномерна променлива, законите на термодинамиката предполагат, че двата подхода са свързани един с друг. Екологичните щети не са нищо повече от физически безпорядък, т.е. те са резултат от трансформацията на ниска ентропия във висока ентропия. Екологичното качество Z представлява наличието на нискоентропни ресурси. От друга страна, замърсяването, което ще означаваме W , е наличие на високоентропни ресурси. Ентропните добивни дейности X намаляват наличието на нискоентропни ресурси и увеличават наличието на високоентропни ресурси. Според закона за консервацията на материя/енергия в този процес не се губят никакви ресурси. Затова общата наличност от висока и ниска ентропия е постоянна величина, \bar{E} , а зависимостта между отпадъците (W) и качеството на околната среда (Z) е както следва:

$$W = \bar{E} - Z \quad (13)$$

Икономическо развитие

Ако (1) и (13) се решат спрямо Z , изменението на замърсяването се дефинира като:

$$\dot{W} = X - \delta(W, R), \quad (14)$$

където $\delta(W, R) = \delta(\bar{E} - Z, R) - E(Z, R)$.

Изразът $\delta(W, R)$ в (14) представлява абсорбиращия капацитет на околната среда: използвайки слънчева енергия, екосистемите са способни да погълнат отпадъците, т.е. да трансформират недостъпната енергия (замърсяването) в достъпна енергия (природни ресурси). Това че $E(Z, R)$ е вдлъбната в Z , означава, че $\delta(W, R)$ също е вдлъбната в W . Тази характеристика контрастира с често използваното допускане, че екосистемите поглъщат постоянна пропорция отпадъци (δ_w), т.е. $\delta(W, R) - \delta_w W$ (Смълдерс, 1995, с. 8).

Включването на участващите в производството природни ресурси X в (14) може да се интерпретира като конкурентно ползване на околната среда в ролята ѝ на депо, т.е. като потока от замърсяване, който увеличава W . Оттук следва, че производственият фактор X (виж $Y()$ в 2) е замърсяващ фактор, или замърсяването е страничен продукт на този производствен фактор. Заместването между замърсяващите фактори (замърсяването) и останалите производствени фактори се определя от производствената функция.

Алтернативен начин за моделиране на взаимодействието между икономическия растеж и опазването на околната среда е представянето на замърсяването като неизбежен страничен продукт на икономическата дейност, а не като отделен производствен фактор. Според този подход, потокът замърсяване е общ продукт на икономическата дейност, т.е. замърсяването е директно свързано с производството Y . Тъй като потокът от замърсяване включва добива (X), такъв подход е еквивалентен на допускането за постоянен коефициент пред природния фактор в производствена-

та функция. Възможностите за заместване в този сценарий се постигат с допускането, че замърсяването се намалява със съкращаване на производството.

Илюстрация на така описания модел може да се даде от следните уравнения:

$$U = U(C_j, H, W); \quad (15)$$

$$W = \sum X_i - \delta(SW, R); \quad (16)$$

$$\sum \dot{K}_i = \sum Y_i(W, K_i, H) - \sum C_j - \sum A_i - A_f; \quad (17)$$

$$X_i = P_i(Y_i, A_p, A_f); \quad (18)$$

$$H = k \sum K_i; \quad (10a)$$

Замърсяването на околната среда от фирмата (или по-общо използваните природни ресурси X_i) зависи положително от производството на фирмата Y_i , и отрицателно от частното намаляване на замърсяването A_i и общественото намаляване на замърсяването A_f , виж (18). Всъщност, посредством (13), природните ресурси се представят като замърсяване, а не като качество на околната среда (W вместо Z), където $\partial Y / \partial W < 0, \partial U_f / \partial W < 0$. Намаляването на замърсяването се моделира като поток, който се произвежда от същата технология, както физическия капитал и стоките за крайно потребление (уравнение 17). Мишел (1993) предлага алтернативен подход, според който намаляването на замърсяването е или частно, или обществено, като последното се представя като наличност. Възможно е обаче намаляването на замърсяването да се произвежда от отделна технология, или потокът от замърсяване да се добави към функцията на полезността. Вместо (10a), познанието може да се генерира целенасочено, например както в (10b).

Растежът е устойчив, само когато намаляването на замърсяването се измерва и с познанието. Ще приемем, че намаляването на замърсяването се асоциира с уреди за частното почистване с определена про-

изоводителност, например абсорбатори. Тези уреди са с постоянна възвращаемост от мащаба, затова двойното повишение на производствените фактори K_i и A_i води до двойно повишение на производството и замърсяването (Y_i и W_i) (Ромер, 1990). И тъй като физическата мярка на замърсяването нараства, траекторията на балансирания растеж (където $\dot{A}/\dot{K}/K$) няма как да е устойчива. Когато обаче се повиши производителността на намаляването на замърсяването, т.е. когато се повиши познанието в намаляването на замърсяването, може да се постигне растеж на производството с постоянно замърсяване, без да е необходимо да се увеличава дялът от крайната продукция, който се използва за намаляване на замърсяването (A/Y). В това отношение, променливата на намаляване на замърсяването в (17) и (18) е удобна на познанието, което увеличава производителността на замърсяващия производствен фактор (9). От концептуална гледна точка по-ясно би било да се отдели количествената мярка на намаляването на замърсяването (измервана в единици конкурентни стоки) от качествената мярка (т.е. неговата производителност или неконкурентното познание, включено в намаляване на замърсяването). За тази цел (17)-(18) може да се заместят със следните уравнения:

$$\begin{aligned} \sum Y_i &= \sum \alpha_y (W) K_i^\beta (H^\alpha S_i)^{1-\beta} = \\ &= \sum K_i + \sum C_j + \sum A_i \end{aligned} \quad (19)$$

$$X_i = Y_i^{1+\gamma} (H^\eta A_i)^\gamma \quad (20)$$

$$\dot{H}A = \sum A_i \quad (21)$$

където S_i е конкурентен постоянен производствен фактор (пространство или земя). За да се изпълни изискването за постоянната възвращаемост от мащаба, се приема, че производството и използваните ресурси са хомогенни от първа степен спрямо конкурентните производствени фактори,

докато останалите фактори са постоянни. Повишаването на производителността на технологията за намаляване на замърсяването, означено с H_A , е страничен ефект от производството на почистващи уреди, например чрез подобряване на технологията за намаляване на замърсяването, следствие на дейността учене-чрез-правене. Всъщност възможностите за устойчив балансиран растеж зависят най-вече от спецификациите на производствената функция и функцията на замърсяването. Лесно може да докаже, например, че в (19) и (20) балансираният растеж с постоянни A/Y , C/Y и X е възможен, само когато $\alpha=1$ и $\eta=1/\gamma$. В по-гъвкавите форми на този модел, особено с включването на разходи за приспособяване в производството на капитал, се позволяват по-малко рестриктивни ограничения (Ромер, 1986).

4. Обобщаващ коментар

В сравнение с неокласическия модел на растежа и опазването на околната среда, ендогенният модел има две важни характеристики. От една страна, следвайки Пол Ромер (1986), икономическият растеж се ендогенезира посредством процеса на натрупване на познание, а от друга, се поставя специален акцент върху възобновимостта на природните ресурси от гледна точка на биофизичните закони.

Познанието може да се представи като основен човешки фактор, който в рамките на икономическия процес взаимодейства с основните компоненти на природните ресурси – материята и енергията. Въпреки че развитието на тези компоненти е ограничено от фиксирания приток на слънчева енергия, човешката изобретателност може да увеличи познанието. Моделът на ендогенния растеж анализира характеристиките на познанието. Заради неконкурентния характер на познанието, използването му е неограничено и без разходи

Икономическо развитие

В най-добрата пропусната възможност. Освен това, натрупването на познание се дължи на съществуващото познание: старото познание инспирира новото познание. Тъй като това натрупване компенсира намаляващите възвращаемости от производствените фактори и ограничението на околната среда в създаването на стойност, то стимулира икономическия растеж.

Първата задача на публикацията е да покаже как създаването на нови познания дава възможност за съгласуване на икономическия растеж и опазването на околната среда. Представеният формален модел разкрива условията, в които е възможно устойчиво развитие. За оценяването им е необходимо да се направят две важни бележки. Първо, тези условия зависят от спецификацията на моделите, които по правило са абстрактни. Затова не е изненадващо, че те са прекалено ограничителни и строги (по отношение на възвращаемостта от мащаба, еластичността на заместването в производството, структурата на предпочитанията, и т.н.). Посложните, но реалистични допускания, относно производствената структура, разходите за приспособяване, и т.н. със сигурност водят до по-слаби изисквания, в които е възможен устойчив растеж. Второ, независимо от произхода на формалните ограничения, моделът показва, че когато човешката креативност е достатъчно голяма, ограниченията на природата могат да се компенсират. По-широкото тълкуване на човешката изобретателност включва въображение, иновационни идеи и научни разработки, които променят институционалната рамка, възможностите за заместване и предпочитанията.

Второто послание на ендогенния модел на устойчивото развитие е, че растежът изисква инвестиции. Чистите пазарни механизми често водят до субоптимални нива на инвестиране, заради неконкурент-

ния характер на производствените фактори, участващи в поддържането на растежа (познание, инфраструктура и т.н.). Без подходяща интервенция на правителството, потреблението и инвестициите може да причинят сериозни вреди на природата. Затова, устойчивото развитие изисква екологична политика, която гарантира високо ниво и правилна посока на инвестициите, особено в консервирането на ресурсите, намаляването на отпадъци и разработване на технологии, съкращаващи замърсяването.

Освен че посочва политиките за достигане на устойчиво развитие, формалният модел показва как промените на екологичната политика влияят върху растежа, при условие, разбира се, че посочените политики са достатъчни, за да гарантират устойчивост. По принцип са възможни два противоположни ефекта. От една страна, по-високата активност в намаляването на вредните отпадъци и екологичните изследвания може да предотврати друга инвестиция, която би намалила растежа. От друга страна, контролираната екологична политика подобрява екологичното качество, а икономиката печели от използването на повече конкурентни и неконкурентни природни стоки. Това стимулира икономическото производство и повишава мотивацията за инвестиции и растеж. Всъщност, когато доминира вторият ефект, екологичната политика подобрява едновременно околната среда и икономическия растеж.

Все пак във формалния модел, и неговите разновидности, остават още много аспекти, които не са изследвани. Например, необратимостта и ефектите на екологичните прагове (т.нар. критични товари), които очевидно имат съществено въздействие върху зависимостта между околната среда и растежа, обикновено се пренебрегват. Функцията на околната среда на животноподдържаща система не

Икономическо развитие

участва експлицитно в модела. Тя просто се припокрива с ролята на околната среда в производството или полезността. Междинните ефекти от промяната на екологичната политика също се игнорират, тъй като вниманието в анализа се насочва изключително към резултатите на устойчивото състояние и се пренебрегват динамиките на преходите (Бовенберг и Смълдерс, 1994).

Повечето модели пропускат да разтълкуват редица важни характеристики на растежа и околната среда в реалния живот. Първо, изчерпаемите природни ресурси са основният източник на енергия и материя в настоящите производствени технологии. Разликата между възобновимите и изчерпаемите ресурси от гледна точка на продължителността на човешкия живот, както и на прехода към по-дълготрайни ресурси заслужава повече внимание. В този смисъл десагрегирането на променливите на природните ресурси би било полезно. Второ, натискът върху природата, който упражняват хората, е един от основните източници на деградация на околната среда. От друга страна, продължителността на живота и здравето зависят от качеството на околната среда. Затова е необходимо да се отдели специално внимание на ръста на населението. Или, както процедураме в неокласическите модели, основните показатели могат да се нормализират спрямо труда или населението. Третият характерен факт е относно корелацията между нивото на дохода и замърсяването. Ниското и високото ниво на дохода се асоциират с ниско замърсяване, докато средните нива на дохода с високо замърсяване. Моделите на ендогенно устойчиво развитие и опазването на околната среда не казват нищо относно този вид корелация. Четвърто, цените на природните ресурси намаляват във времето, докато повечето модели предвиждат нарастващи цени. Пето, иновациите може

Ендогенен модел на устойчиво развитие

да увеличат използването на природни ресурси, а с това и екологичните проблеми. Повечето модели насочват вниманието си единствено към ресурсно спестяващите технологии, а така пропускат да анализират посоката на технологичния прогрес. Шесто, взаимоотношенията между обществената политика и дейностите на частните фирми в създаването на нови (екологично приемливи) технологии и в предприемането на частни инвестиции за намаляване на замърсяването е много позначима от тази, която ѝ отреждат настоящите модели. По-реална картина би се получила с добавянето на специфични за фирмите познания, т.нар. домашни изследвания, несъвършената конкуренция и кооперативните действия.

Но дори и без тези допълнения, моделите на едogenous растеж са добра база за изучаване на по-сложни и специфични аспекти на водените политики. Такива вече има по отношение на правилата и групи характеристики на публичните финанси. Допълнителни предизвикателства са изборът на инструменти, преодоляването на информационната асиметрия и несигурността, приложенията на политическата икономия. Така или иначе, основното предизвикателство е да се открие как екологичните и икономическите политики могат да стимулират изобретателността на хората и да я насочат в правилната посока, за да се достигне устойчиво развитие.

Цитирани източници:

Aghion, Ph. and P. Howitt, 1992. A Model of Growth through Creative Destruction, *Econometrica* 60, pp.323-352.

Arrow, K., 1962. The Economic Implications of Learning by Doing, *Economic Inquiry* 28, pp. 1-18.

- Barro, R. J., 1990. Government Spending in a Simple Model of Endogenous Growth, *Journal of Political Economy*, 98, s103-s125.
- Bovenberg, A. L. and S. Smulders, 1994. Transitional Impacts of Environmental Policy in an Endogenous Growth Model, CentER Discussion Paper 9450, Tilburg University.
- Boulding, K. E., 1966. The economics of the coming spaceship Earth, in H. Jarrett (ed.), *Environmental Quality in a Growing Economy*, John Hopkins University Press, Baltimore.
- Daly, H. E. (ed.), 1973. *Towards a Steady-State Economy*. W. H. Freeman, San Francisco, California.
- Daly, H. E., 1980. Postscript: Some Common Misunderstandings and Further Issues Concerning a Steady-State Economy, in: H. E. Daly (ed.) *Economics, Ecology, Ethics; essays towards a steady-state economy*, W. H. Freeman & Co., San Francisco; reprinted in Daly (1993).
- Daly, H. E., 1987. The Economic Growth Debate: what some economists have learned but many have not, *Journal of Environmental Economics and Management*, Dec. 1987, reprinted in A. Markandya and J. Richardson (eds.) *The Earthscan reader in Environmental Economics*, London 1992.
- Daly, H. E., 1992. Comment: Is the Entropy Law Relevant to the Economics of Natural Resource Scarcity?-Yes, of Course It Is!, *Journal of Environmental Economics and Management* 23, pp. 91-95.
- Daly, H. E. and K. N. Townsend (ed.), 1993. *Valuing the Earth; Economics, Ecology, Ethics*, MIT Press, Cambridge MA.
- Dasgupta, P. and G. Heal, 1974. The Optimal Depletion of Exhaustible Resources, *Review of Economic Studies*, pp. 3-28.
- Georgescu-Roegen, N., 1971. *The entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press.
- Georgescu-Roegen, N., 1975. Energy and Economic Myths, *Southern Economic Journal* 41, pp. 347-381.
- Grossman, G.M. and E. Helpman, 1991. *Innovation and Growth in the Global Economy*, MIT Press, Cambridge MA.
- Hartwick, J., 1990. Natural Resources, National Accounting and Economic Depreciation, *Journal of Public Economics* 43, pp. 291-304.20
- Krautkraemer, J. A., 1985. Optimal growth, Resource Amenities and the Preservation of Natural Environments, *Review of Economic Studies* 52, pp. 153-170.
- Michel, Ph., 1993. *Pollution and Growth towards the Ecological Paradise*, Fondazione Eni Enrico Mattei Working Paper 80. 93.
- Mulligan, C. and X. Sala-i-Martin, 1993. Transitional Dynamics in Two-sector Models of Endogenous Growth, *Quarterly Journal of Economics*, 108, nr. 3, pp. 739-773.
- Perrings, C., 1987. *Economy and Environment; A Theoretical Essay on the Interdependence of Economic and Environmental Systems*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Pethig, R., 1994. *Ecological Dynamics and the valuation of environmental change*, mimeo.
- Pezzey, J., 1992. *Sustainability: an Interdisciplinary Guide*, *Environmental Values* 1, pp. 321-362.

Rebelo, S., 1991. Long-run Policy Analysis and Long-run Growth, *Journal of Political Economy* 99, 500-521.

Romer, P. M., 1986. Increasing Returns and Long-run Growth, *Journal of Political Economy* 94, 1002-1037.

Romer, P. M., 1990a. Endogenous Technological Change, *Journal of Political Economy*, 98, pp. s71-s102.

Romer, P. M., 1990b. Are Nonconvexities important for Understanding Growth?, *American Economic Review* 80, AEA papers and proceedings, pp. 97-103.

Romer, P. M., 1994. New goods, old theory, and the welfare costs of trade restrictions, *Journal of Development Economics* 43, pp. 5-38.

Scott, M. F., 1989. A New View of Economic Growth, Clarendon Press, Oxford.

Smulders, J., 1995. Entropy, environment, and endogenous economic growth, *International Tax and Public Finance*, Springer, vol. 2 (2), pages 319-340.

Smulders, J. and R. Gradus, 1993. Pollution Abatement and Long-term Growth, CentER Discussion Paper 9373, Tilburg University.

Stiglitz J. E., 1974. Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths, *Review of Economic Studies* pp. 123-137.

Stiglitz, J. E., 1987. Learning to Learn, Localized Learning and Technological Progress, in: Dasgupta & Stoneman (eds.), *Economic Policy and Technological Performance*, Cambridge University Press, pp.125-153.

Verdier, T., 1993. Environmental Pollution and Endogenous Growth: a Comparison between Emission Taxes and Technological Standards, *Foundatione Eni Enrico Mattei Working Paper* 57-93.

Xepapadeas, A., 1993. Long-run Growth, Environmental Pollution and Increasing Returns, mimeo 1993, University of Crete.

Young, J. T., 1991. Is the Entropy Law Relevant to the Economics of Natural Resource Scarcity?, *Journal of Environmental Economics and Management* 21, pp. 169-179.