Икономическият растеж и благоприятната среда за живеене

Юли Радев[1]

Резюме: Настоящата статия дискутира условията, при които оптималното решение за разработване на природните ресурси включва постоянна защита на околната среда. Тези условия са много по-рестриктивни от условията в останалите модели на икономическия растеж и устойчивото развитие. Нарастващото потребление и намаляващите цени няма как да гарантират постоянно опазване на околната среда. От друга страна, първоначалната капиталова наличност се оказва важна детерминанта на оптималното ниво на опазване на околната среда. Отчитането на стойността на благоприятната среда за живеене повишава първоначалната цена на ресурсите и понижава ръста на тази цена.

Ключови думи: моделът *капитал-ресурси*, текуща стойност на *функцията на Хамилтон*, устойчиво развитие, благоприятна среда за живеене, екосистеми.

JEL: E21, Q11, Q32, Q51.

В статията е анализирано влиянието върху икономическия растеж на благоприятната среда за живеене, създавана от ресурсите, участващи в производството. По-конкретно, представени са условията за устойчиво развитие и постоянно опазване на околната среда, в която се намират производствените ресурси. Тези условия са много по-рестриктивни от условията в останалите модели на икономическия растеж и устойчивото развитие. Нарастващото потребление и намаляващите цени не са достатъчни да гарантират постоянно опазване на околната среда. Първоначалната капиталова наличност може да е важна детерминанта на оптималното ниво на опазване на околната среда.

Статията е организирана по следния начин. В първи раздел е представен моделът на икономическия растеж и опазването на околната среда, **във втори раздел –** влиянието на технологичния прогрес върху опазването на околната среда, а в трети – влиянието на заместването капитал-ресурси. В четвърти раздел е направен обобщаващ коментар.

1. Икономическият растеж, ограничеността на ресурсите и благоприятната среда за живеене

Невъзобновимите природни ресурси ограничават икономическия растеж, а заедно с песимистичните прогнози за неизбежния край на човечеството – засилиха интереса към концепцията за устойчивото развитие. Условията, в които е възможно и същевременно оптимално за икономиката да се поддържа ненамаляващо ниво на производството и потреблението, са дискутирани от Солоу (1974), Дасгупта и Хил (1974), Стиглиц (1974), а впоследствие от Пецей и Витаген (1998), Валенте (2007) и др. В непрекъснато разрастващата се литература по този въпрос можем да идентифицираме три фактора, посредством които се преодолява проблемът с ограни-

[1] Юли Радев е доктор, доцент в катедра "Икономика и управление" на МГУ „Св. Ив. Рилски", e-mail: radev@bdc.bg

чеността: (1) Заместването на ресурсите с други производствени фактори, особено с репродуктивен капитал; (2) Технологичния прогрес в производството на стоки и услуги; (3) Нарастващата възвращаемост от мащаба.

По-конкретно, за производствените функции с постоянна еластичност на заместването между капитала и участващите в производството ресурси, и при постоянно население, устойчивото развитие е възможно, ако тази еластичност е по-голяма от единица (Дасгупта и Хил, 1974) или ако тя е равна на единица, но еластичността на продукцията спрямо капитала е по-голяма от еластичността на продукцията спрямо ресурсите ((Солоу, 1974), Стиглиц, 1974)). Ако производствената функция е от типа Коб-Дъглас, ненамаляващо производство е възможно, когато $\omega+(\alpha+\beta-1)n\geq 0$, където ω е коефициентът на влияние на технологичния прогрес върху производството на стоки и услуги, n е ръстът на населението, а α и β са еластичността на продукцията спрямо капитала и съответно труда (Стиглиц, 1974). В тези случаи сумата от печалбите, резултат от технологичния прогрес и нарастващата възвращаемост от мащаба, е достатъчно голяма, за да компенсира нарастващото търсене на ресурси, следствие на разрастването на населението.

Оптималното устойчиво развитие зависи не само от технологичните възможности, но и от социалните предпочитания. Интертемпоралната норма на дисконтиране играе ключова роля за дефинирането на оптималното решение. Според Дасгупта и Хил (1974) асимптотичният растеж на потреблението е оптимален, когато ограничената маргинална производителност на капитала надвишава нормата на дисконтиране. Стиглиц (1974) твърди, че асимптотичният растеж на потреблението на глава от населението е оптимален, когато $\omega>\rho\gamma$, където γ е относителният дял на ресурсите в производството.

Моделите на икономическия растеж дават известни основания за оптимизъм относно способността на ресурсната база да поддържа устойчиво икономическо развитие. Емпирично доказателство за този оптимизъм е историческата тенденция за понижаване на разходите и цените на ресурсите. Все пак, в тези модели не се отчита другият важен аспект на природните ресурси – загубата на благоприятна среда за живеене, която добивът на производствени ресурси предизвиква като следствие на нарушените екосистеми. Както отбелязва Крутила (1967), за бъдещите поколения много по-важен е въпросът с осигуряването на благоприятната среда за живеене от запазените екосистеми, отколкото този с консервирането на производствените ресурси за самите бъдещи поколения. Технологичният прогрес и заместването на ресурсите може да позволи на икономиката да поддържа своя материален стандарт на живот. Предлагането на услуги от защитени екосистеми обаче ще намалява, дори и само заради факта, че подобреното материално благополучие на хората увеличава търсенето на осигуряваната от екосистемите благоприятна среда за живеене.

Отчитайки интертемпоралното съотношение между ограничеността на природните производствени фактори и благоприятната среда за живеене, Смит (1974) твърди, че цените на благоприятните среди за живеене ще нарастват относително спрямо цените на природните производствени фактори. Този извод има важни последствия за анализа на ползите и загубите от проектите за разработване на ресурсите. Първо, когато текущите цени са основа на анализа *ползи-загуби*, ползите от разработването трябва да се редуцират, за да се отрази бъдещото изменение на относителните стойности.

Икономически растеж

Второ, ако разработването на ресурсите е с необратими последици, изчерпването трябва да спре преждевременно на ниво, определено от текущите оценки, независимо от това, че бъдещите стойности може да изискват само да се намали темпът на добива.

И трето, ако разработването на природните ресурси е нежелано сега, то винаги ще остане такова (Фишер и др., 1972). Тези изводи са много сериозен аргумент за осигуряване на постоянна защита на някои екосистеми. Дори може да се окаже, че оптималното решение изисква да се осигури постоянна защита на такива системи, чиято настояща норма на възвращаемост от разработването на ресурсите е по-висока от настоящата норма на възвращаемост от защитата. И накрая, ако бъдещите относителни стойности са несигурни, желанието на обществото да плаща дори за услуги, които не ползва, дава допълнителен мотив за защитата на околната среда.

Анализът на Смит все пак има някои съществени недостатъци. Представената рамка всъщност е сравнителен статичен модел. Тя не посочва средствата, които ще позволят на икономиката да увеличи ефективното предлагане на ресурси, които да се използват като производствени фактори. Затова и производствената стойност на ресурсите не може да се определи по ендогенен начин. Ако ефективното предлагане на природни производствени ресурси се увеличава чрез повишаване на тяхната производителност, производствената стойност на ресурсите може да нараства, дори когато цените на стоките намаляват. При това условие обаче не е сигурно дали намаляващите стойности на стоките и нарастващите стойности на благоприятната среда за живеене ще доведат до оптимална постоянна защита на околната среда. Очевидно е, че по-полезната конструкция е динамичен модел, в който производствената стойност на ресурсите ще се определя експлицитно в рамките на модела, а стойностите на благоприятната среда за живеене, свързани с опазването на околната среда, са изрично отчетени.

Според нас моделът на икономическия растеж на Крауткремер (1985) е най-подходящата динамична рамка за анализ на въздействието на благоприятната среда за живеене върху устойчивото развитие. В тази статия ще разширим идеята на Крауткремер от гледна точка на моделите, в които функциите и променливите се нормализират спрямо труда, т.е. на глава от населението[2]. Изискването на Стиглиц за ненамаляващо потребление в новия неокласически модел на устойчивото развитие се свежда до неравенството $\omega - n > \rho$. Основен инструмент и в този модел е асимптотичният подход.

Посредством модифицирания модел на Крауткремер в оставащата част от публикацията ще докажем, че способността на икономиката да поддържа ефективно предлагане на невъзобновими ресурси за производството и в същото време да не позволява спад на производството и потреблението, е необходимо, но не достатъчно условие за осигуряване на оптимална постоянна защита на околната среда. Оптималното решение може да изисква, например, разработването на всички екосистеми, в които участват производствените ресурси, дори когато цената на продукта пада до нула.

Освен това, оптималното ниво на постоянна защита на околната среда зависи от първоначалната капиталова и ресурсна наличност. Характеристиките на асимптотичния растеж на икономиката не се влияят от благоприятната среда за живеене, генерирана от запазените природни ресурси. Отчитането на стойността на благоприятната среда за живеене води до по-голяма консервация на ресурсите, тъй

[2] Виж Икономически и социални алтернативи, 2013, бр. 4, с.15-26.

като първоначалните цени на ресурсите са по-високи и темпът на растеж на цените е по-малък в сравнение със сценария, в който ресурсите не създават благоприятна среда за живеене.

2. Опазването на околната среда и технологичният прогрес

За да анализира влиянието на технологичния прогрес и благоприятната среда за живеене върху икономическия растеж и добива на невъзобновимите ресурси, Крауткремер използва обикновения модел на устойчивото развитие, според който целта на икономиката е да максимизира осъвремененаната стойност на полезността по отношение на наличната технология и първоначалната ресурсна наличност[3].

Полезността се представя като функция както на потреблението, така и на благоприятната среда за живеене. Тази идея е използвана за първи път от Дасгупта и Хил (1974). Благоприятната среда за живеене, от своя страна, зависи от действащите екосистеми. Ако след изчерпването на природните ресурси, екосистемите се разрушават безвъзвратно, то съществува функционална зависимост между създаваната благоприятна среда и оставащата ресурсна наличност. Тази зависимост се добавя към функцията на полезността, така че полезността да се опише като функция на потреблението и оставащата ресурсна наличност. В настоящия анализ полезността на глава от населението (u) е представена като функция на потреблението (c) и оставащите (неизчерпани) ресурси (z) на глава от населението, $u(c,z)$. Населението и домакинствата нарастват експоненциално с норма n. За да поставим екологичните разходи, свързани с добива, в центъра на анализа, ще приемем още едно важно допускане – оперативните разходи за извършване на добивните работи са равни на нула.

В тази рамка технологичният прогрес се изразява в подобряване на нивото на потребление (C), достижимо за зададеното ниво на добив (X). Ако означим с ω коефициентът на въздействие на технологичния прогрес върху потреблението на глава от населението и приемем, че това въздействие е експоненциално, е в сила следното уравнение $c_t = e^{(\omega - n)t} x_t$[4]. Формално моделът трябва да посочи траекторията на добива във времето, която максимизира полезността:

$$\int_0^\infty e^{-(\rho - n)t} u(c_t, z_t) dt, \tag{1}$$

по отношение на:

$$\dot{z}_t = -x_t - n z_t{}^{5}, \tag{2}$$

$$c_t = e^{(\omega - n)t} x_t, \tag{3}$$

$$x_t \geq 0, z_t \geq 0. \tag{4}$$

Подобно на Дасгупа и Хил (1974), ще приемем, че функцията на полезността $u(c,x)$ е двойно диференцируема в непрекъснато време, като $u_c, u_z > 0$, $u_{cz}, u_z < 0$ и $lim_{c \to 0} u(c,x) = \infty$. Допускайки, че не всички екологични системи съдържат производствени ресурси, можем да констатираме, че маргиналната полезност от оставащата ресурсна наличност u_z ще бъде ограничена за всички стойности на c и z. В допълнение ще приемем, че кръстосаната частна производна $u_{cz}(c,z)$ е неотрицателно число, от където следва, че $u_{cz}(c,z) < u_z(c,z)/c$. Последното неравенство показва, че маргиналният принос на нарастващото потребление към стой-

[3] Този опростен модел е известен сред икономистите още като модела „разпределяне на питката" на Гейл (1967).

[4] Въпреки някои неудобства, с индекс t ще означаваме функция от t, докато останалите индекси ще символизират частните производни спрямо съответните променливи.

[5] Множителят nz_t се получава от формулата за темпа на растеж на (Z_t/L_t).

ността на благоприятната среда за живеене е по-малък в сравнение с неговия среден принос. Така, с увеличаването на стандарта на живот, стойността на благоприятната среда за живеене ще нараства, но само с намаляващи темпове[6].

За разлика от повечето модели на устойчивото развитие с природни ресурси, ще анализираме не осъвремененатa, а текущата стойност на функцията на Хамилтон:

$$H=u(c,z)-\mu_t(x+nz)+\lambda_x x+\lambda_z z, \qquad (5)$$

където μ_t е текущата стойност на цената в сянка на ресурсната наличност, а λ_x и λ_z са Лагранжовите множители на ограниченията за неотрицателни стойности. Тъй като при понижаване на потреблението до нула маргиналната полезност от потреблението е неограничена, ресурсната наличност и добивът на ресурсите във всяко t са строго положителни числа.

Имайки предвид, че от (3) $x=ce^{-(\omega-n)t}$, първите условия за оптимално решение изглеждат по следния начин:

$$H_C=0 \Rightarrow \mu_t=u_c(c,z)e^{(\omega-n)t} \qquad (6)$$

$$\dot{\mu}_t=-H_Z \Rightarrow \dot{\mu}_t=(\rho-n)\mu_t-u_z(c,z)+\mu_t n \qquad (7)$$

Уравнение (6) показва, че цената в сянка на ресурсната наличност трябва да е равна на маргиналната полезност от потреблението, дължащо се на ресурсите. Ако представим уравнение (7) като $\dot{\mu}_t=\rho\mu_t-u_z(c,z)$, и съответно $\rho=\dot{\mu}_t/\mu_t+u_z(c,z)/\mu_t$, то може да се разтълкува по следния начин. Общата норма на възвращаемост на ресурсите на глава от населението, която е сума от капиталовата печалба, $\dot{\mu}/\mu$, и стойността на полезността, дължаща се на ресурсите, u_z/μ, трябва да е равна на нормата на дисконтиране ρ. Ако производствените ресурси не участват в създаването на благоприятна среда за живеене, цената в сянка на ресурсите, а от тук и цената на ресурсите, нараства с дисконтовата норма $\rho=\dot{\mu}_t/\mu_t$. Обратно, създаването на такава стойност означава собствена положителна лихва на ресурсната наличност и намаляване на оптималната норма на нарастване на цената на ресурсите.

Текущата стойност на цената в сянка може да се представи като съставена от два основни компонента:

$$\mu_t=\int_0^{\infty} e^{-(\rho-n)(s-t)}u_z(c(s),z(s))ds+\lambda e^{(\rho-n)t} \qquad (8)$$

където $\lambda=lim_{t\to\infty}\mu_t e^{-(\rho-n)t}$ е осъвременената стойност на цената в сянка, измерваща влиянието на ограничените ресурси върху полезността на глава от населението. Първият компонент е дисконтираната стойност на бъдещата маргинална полезност или маргиналното участие в бъдещата благоприятна среда за живеене на ресурсната наличност. Вторият компонент е текущата стойност на цената в сянка или цената на ползване[7]. Когато ресурсите не се изчерпват напълно, ограничението е пасивно, а цената в сянка е равна на нула.

И така, при постоянна еластичност на интертемпоралното заместване на потреблението, ако диференцираме уравнение (6) спрямо времето и заместим в уравнение (7), ще получим уравнението на Ойлер, дефиниращо изменението в нивото на потребление:

$$\frac{\dot{c}}{c}=\frac{1}{\theta}\left((\omega-n)-\rho+\frac{u_z}{\mu}-\frac{(x+nz)u_{cz}}{u_z}\right) \qquad (9)$$

[6] Това изискване е важно, тъй като изключва сценария, в който нарастващото потребление води до рязко покачване на стойността на благоприятната среда за живеене. То може да има и други тълкувания. От една страна показва, че благоприятната среда за живеене отмества потреблението от настоящето към бъдещето, а от друга, че долната граница на първоначалната производствена стойност на ресурсите намалява.

[7] Както не веднъж сме дискутирали, цената в сянка е синоним на рентата на Хотелинг (1931) или маргиналната цена на ползване на Кейнс (1936) (виж user cost).

където θ е обратнопропорционалната еластичност на интертемпоралното заместване[8].

Докато $u_{zc} < u_z / c$, стойността на благоприятната среда за живеене ще повишава нормата на изменение на нивото на потребление. Това означава, че стойността на благоприятната среда за живеене ще намали първоначалното ниво на добив и потребление и по този начин ще отмести потреблението от настоящето към бъдещето. С други думи, възможен е такъв модел на добив, който във всеки момент от времето дава по-високо ниво на потребление в сравнение с траекторията на оптималния добив на ресурси, които не генерират благоприятна среда за живеене. Новият модел със сигурност влиза в конфликт с условията за оптимум на тази траектория.

Условието за устойчиво развитие, т.е. поддържането на ненамаляващо потребление, изисква коефициентът на въздействие на технологичния прогрес, редуциран с ръста на населението, да надвишава нормата на дисконтиране. Към това условие трябва да добавим постоянното опазване на околната среда, символизирано от асимптотичното ниво на ресурсите, които няма да бъдат изчерпани. За тази цел ще определим долната и горната граници на първоначалното ниво на добив като функция на асимптотичното ниво на акумулирания добив, а от тук и долната и горната граници на производствената стойност, представена като функция на асимптотичното ниво на оставащата ресурсна наличност. Накрая ще съпоставим графично средната производствена стойност на ресурсите и средната стойност на благоприятната среда за живеене, чието равенство (пресечна точка) дефинира условието за ефективен добив и оптимално опазване на околната среда..

Тъй като $c = e(\omega - n)^t x$, $\dot{x}/x = \dot{c}/c - (\omega - n)$. Когато $(\omega - n) > \rho$, $\dot{c}/c > 0$, и $u_z(c, z)$ е нарастваща функция на времето. От (7) следва, че $\dot{\mu}/\mu$ е положително число, когато $\rho > u_z(c, z)/\mu$. От гледна точка на уравнението на Ойлер (9), последното неравенство означава, че

$0 < u_z/\mu - (x + nz) u_{cz}/u_c < \rho$, а от тук и че

$((\omega - n) - \rho)/\theta < \dot{c}/c < (\omega - n)/\theta$. Следователно:

$$-(\omega - n) + \frac{((\omega - n) - \rho)}{\theta} < \dot{x}/x < -(\omega - n) + \frac{(\omega - n)}{\theta}$$ и:

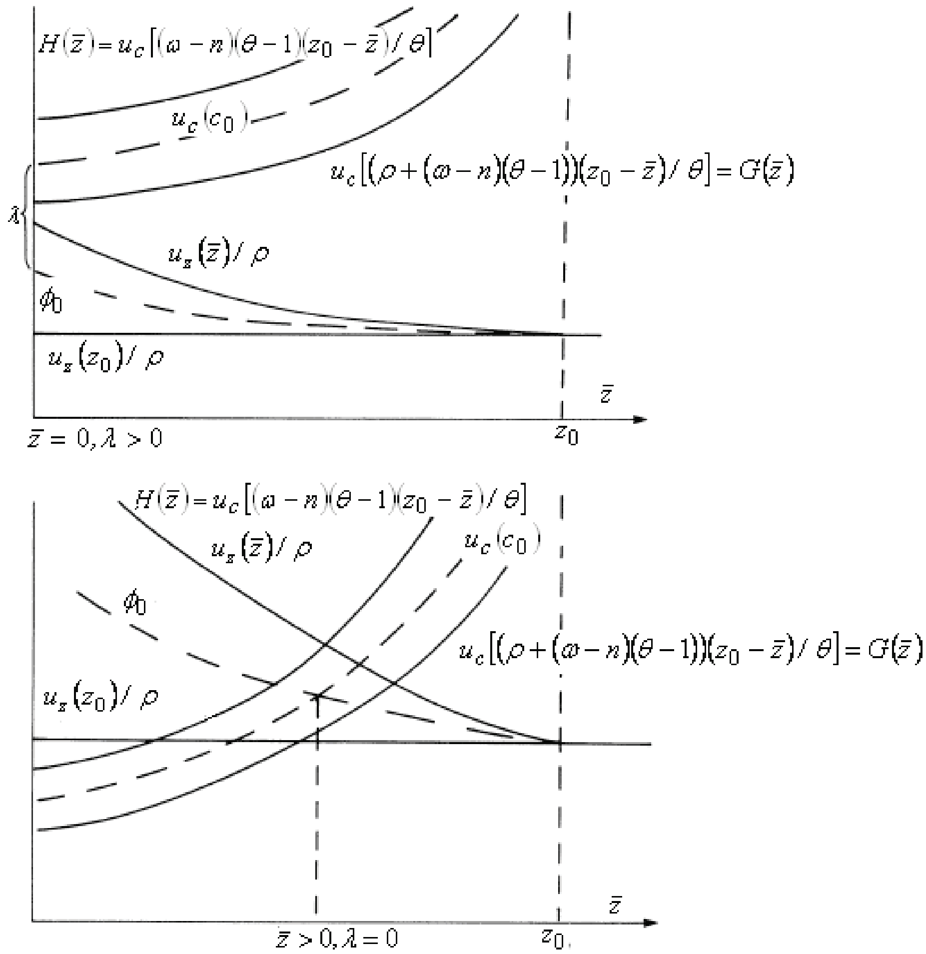
$$\frac{\theta x_0}{(\omega - n)(\theta - 1)} > \int_0^\infty x_t \, dt > \frac{\theta x_0}{\rho + (\omega - n)(\theta - 1)} \quad (10)$$

Ако означим с z_0 първоначалната ресурсна наличност, а със $\bar{z}$ $(\bar{z} = lim_{t \to \infty} zt)$ асимптотичното ниво на оставащата ресурсна наличност, която символизира постоянното опазване на околната среда, то асимптотичното ниво на акумулирания добив е $\int_0^\infty x_t \, dt = z_0 - \bar{z}$. Този резултат ще ни позволи да преоформим (10) като:

$$\frac{(\omega - n)(\theta - 1)(z_0 - \bar{z})}{\theta} < x_0 < \frac{[\rho + (\omega - n)(\theta - 1)](z_0 - \bar{z})}{\theta}. \quad (11)$$

[8] След диференциране (6), темпът на растеж на μ_t се изразява като $\frac{\dot{\mu}_t}{\mu_t} = \left[\frac{u_{cc}}{u_c}\dot{c} + \frac{u_{cz}}{u_c}\dot{z} + (\omega - n)\right]$. Представяйки (7) като $\frac{\dot{\mu}_t}{\mu_t} = \rho - \frac{u_z}{\mu_t}$, и след като приравним десните страни на двете уравнения, $\dot{z}$ заместим с $-(x + nz)$, а $\left(\frac{u_c}{u_c} c\right)$ с обратнопропорционалната еластичност на интертемпоралното заместване $-\theta$, ще получим (9).

Икономически растеж



Фигура 1. *Технологичният прогрес и опазването на околната среда*

На фигурата са илюстрирани два сценария. Първият сценарий е, когато стойността на благоприятната среда е прекалено малка, за да се поставят бариери на добива, а вторият е при достатъчно висока стойност на благоприятната среда, която да оправдае ограниченията на добива.

Двете граници на производствената стойност на ресурсите във време нула се определят от (11) и $u_c(c_0, z_0)$ при $\omega - n > \rho$ и $\theta > 1$. Горната и долната граници на производствената стойност са означени съответно с $H(\bar{z})$ и $G(\bar{z})$ и са представени алгебрично и графично на фигура 1 (Фигурата е преработена по Краутkремер, 1985, с.158). И двете функции са нарастващи в нивото на постоянното опазване на околната среда. На същата фигура са онагледени още горната и долната граници на стойността на благоприятната среда за живеене, представена като функция на нивото на постоянното опазване на околната среда.

За да определим алгебрично тези граници, ще означим стойността на благоприятната среда за живеене във време

t, като $\phi_t = \int_t^\infty e^{-(\rho-n)(s-t)} u_z(c(s), z(s)) ds$.

Така (8) се свежда до $\mu_t = \varphi_t + \lambda e^{(p-n)t}$. Когато $\omega - n > \rho$, темпът на потреблението е положително число, т.е. $\dot{c} > 0$, а от тук и темпът на маргиналната полезност, дължаща се на ресурсната наличност, също е положително число, т.е. $d_{uz}(c,z)/dt = u_{cz}\dot{c} + u_z\dot{z} > 0$. Тъй като за всяко $s > t$, $u_z(c(s), z(s)) > u_z(ct, zt)$, и от (7) $\phi > u_z(c,z)/\rho$, следва:

$$\frac{u_z(c_t, z_t)}{\rho} < \phi_t < lim_{t\to\infty} \frac{u_z(c_t, z_t)}{\rho}. \qquad (12)$$

Условията за ефективност изискват $\mu_0 = u_c(c0, z0)$(виж 6). Имайки предвид (8), когато $\phi_0 < uc(c_0, z_0)$, необходимите условия за оптимум са изпълнени, само ако $\lambda > 0$. В този случай оптималното решение изисква пълно изчерпване на ресурсна наличност. Когато $\phi_0 > u_c(c_0, z_0)$, оптималното решение изисква една част от ресурсната наличност да се запази. Т.е. асимптотичното ниво на акумулирания добив да е по-малко от първоначалната ресурсна наличност.

Горната и долната граници на стойността на благоприятната среда за живеене, както и тези на първоначалната производствена стойност, описват детайлно двата сценария, когато ресурсите се изчерпват напълно и когато оптималното решение изисква постоянно опазване на околната среда.

От направения анализ лесно може да се докаже следната ***теорема***: Дори когато е възможно постоянно нарастващо потребление, оптималното решение може да изисква изчерпване на цялата наличност от невъзобновими ресурси. Всъщност, когато горната граница на ϕ_0 е по-малка от $G(0)$, е в сила неравенството $\phi_0 < u_c(c_0, z_0)$. От тук следва, че в $t = 0$ уравнение (6) е изпълнено само когато $\lambda > 0$. Но според условието за трансверсалност, когато $\lambda > 0$, $lim_{t\to\infty} z_t = 0$[9]. А това доказва теоремата..

И така, технологичният прогрес, който по принцип стимулира потреблението, повишава и производителността на ресурсите. Следователно, маргиналната стойност на ресурсите, използвани в производството, нараства дори когато стойността на произвежданите стоки пада до нула. Затова оптималното решение може да изисква изчерпване на цялата ресурсна наличност. Същият анализ ще приложим в случаите, в които репродуктивният капитал замества ресурсите като производствен фактор.

3. Опазването на околната среда и заместването *капитал-ресурси*

Възпроизвеждащата се капиталова наличност също е възможност за икономиката да преодолее ограничеността на крайното количество невъзобновими ресурси. Според производствения модел *капитал-ресурси* една част от произвежданите стоки не се потребява, а се добавя към капиталовата наличност, за да се увеличи бъдещото производство. Икономиката избира такава комбинация от инвестиции (потребление) и добив, която максимизира полезността на глава от населението:

Максимизира се $\underset{c_t, x_t}{} \int_0^\infty e^{-(\rho-n)t} u(c_t, z_t) dt$ по отношение на:

$$\dot{k}_t = f(k_t, x_t) - c_t \qquad (13)$$

$$\dot{z}_t = -x_t - nz_t\ , \qquad (14)$$

$$c_t \ge 0\,, k_t \ge 0\,,\ x_t \ge 0\,, z_t \ge 0 \qquad (15)$$

$$k(t=0) = k_0\,,\ z(t=0) = z_0\,. \qquad (16)$$

[9] Условието за трансверсалност за текущата стойност на функцията на Хамилтон се представя по следния начин: $lim_{t\to\infty} e^{-(\rho-n)} \mu_t z_t = \lambda \bar{z} = 0$.

Производствената функция се представя в интезивната си форма, $f(k_t, x_t)$, където $k_t = K_t / L_t$, и $x_t = X_t / L_t$. Първото ограничение (13) описва натрупването на капитала, когато не се отчита амортизацията. Функцията на полезността е вдлъбната и $u_{cz} > 0, lim_{c\to 0} u_c = 0$, а u_z е ограничена за всяко $z > 0$[10]. Имплицитно отново се допуска, че оперативните разходите са равни на нула. Освен това добивът на ресурсите разрушава необратимо екосистемите, в които те участват.

Текущата стойност на функцията на Хамилтон се задава като:

$$H = u(c,z) + \nu_t (f(k,x) - c - nk) - \mu_t (x + nz) + $$
$$+ \lambda_c c + \lambda_x x + \lambda_k k + \lambda_z z \, , \qquad (17)$$

където ν_t и μ_t са текущите цени в сянка, свързани с капиталовата и съответно ресурсната наличност. Със символа λ са означени Лагранжовите множители, отнасящи се до ограниченията за неотрицателните стойности.

Необходимите условия за оптимум са следните:

$$H_c = 0 \Rightarrow \nu_t = u_c(c,z), \qquad (18)$$

$$H_x = 0 \Rightarrow \mu_t = \nu_t f_x(k,x), \qquad (19)$$

$$\dot{\nu}_t = -H_k \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \dot{\nu}_t = (\rho - n)\nu_t - \nu_t f_k(k,x) + n \nu_t \, , \qquad (20)$$

$$\dot{\mu}_t = -H_z \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \dot{\mu}_t = (\rho - n)\mu_t - u_z(c,z) + \mu_t n \, . \qquad (21)$$

Уравнения (18-21) показват, че при оптимално решение цената в сянка на капитала е равна на маргиналната полезност от потреблението. Цената в сянка на ресурсите е равна на маргиналната производителност на ресурсите. Последното се получава, като се замести (18) в (19) - $\mu_t = u_c(c,z) f_x(k,x)$. Освен това, нормата на възвращаемост на всеки актив – капиталовата печалба плюс собствената лихва на актива, трябва да е равна на нормата на дисконтиране на полезността на главата от населението $(\rho - n)$, и следователно една на друга. Отново цената в сянка на ресурсите може да се представи като сума от два компонента: $\mu_t = \phi_t + \lambda e^{(\rho - n)t}$. И накрая, условието за трансверсалност $lim_{t \to \infty} \lambda z_t = 0$, което също трябва да бъде удовлетворено.

При постоянна еластичност на интертемпоралното заместване във функцията на полезността, ако диференцираме (18) спрямо времето и заместим в (20), ще получим уравнението на Ойлер за изменение на нивото на потребление:

$$\frac{\dot{c}}{c} = \frac{1}{\theta}\left(f_k(k,x) - \rho - \frac{(x + nz)u_{cz}}{u_z} \right)^{11} . \qquad (22)$$

За по-нататъшния анализ е много важна ролята на заместването в производствената функция между капитала и ресурсите. За удобство ще приемем, че еластичността на заместването между двата производствени фактора (ϑ) е постоянна.

Благоприятните среди за живеене въздействат върху оптималните траектории на добива и потреблението основно чрез тяхното участие в нормата на възвращаемост на ресурсната наличност. Създаването на благоприятна среда за живеене означава, че ресурсите генерират своя собствена положителна лихва. Затова

---

[10] Последното изискване замества допускането $u_{cz} < u_z / c$.

[11] След диференциране на (17), темпът на растеж на μ_t се представя като $\frac{\dot{\mu}_t}{\mu_t} = \frac{u_{cc}}{u_c}\dot{c} + \frac{u_{cz}}{u_c}\dot{z}$. Преобразуваме (19) до $\frac{\dot{\mu}_t}{\mu_t} = \rho - f_k(k,x)$, приравняваме десните страни на двете уравнения, $\dot{z}$ заместваме с $(x - nz)$, а $\left(\frac{u_c}{u_c} c\right)$ с обратнопропорционалната еластичност на заместването $-\theta$, за да получим (22).

стойността на неизползваната част от ресурсите се повишава, а ръстът на цената на ресурсите е по-малък от дисконтовата норма. Както доказва Крауткремер (1982), първоначалната цена на ресурсите трябва да е по-висока, отколкото би била, когато ресурсите не създават благоприятна среда за живеене. Затова оптималният модел на добив се отмества от настоящето към бъдещето.

Когато ресурсите не участват в осигуряването на благоприятна среда за живеене, последният множител от уравнение (22) е равен на нула и уравнението на Ойлер придобива характерния си вид. Когато функцията на полезността е неделима, благоприятната среда за живеене влияе пряко върху темпа на изменение на потреблението. Дори когато функцията на полезността е адитивно делима, благоприятната среда влияе индиректно върху потреблението, тъй като понижава съотношението *капитал-ресурси*. Колкото по-голяма е маргиналната норма на заместване между благоприятната среда за живеене и потреблението, толкова по-голямо е това понижение, независимо от съотношението между производствените фактори.

Тъй като във всеки времеви момент цената на ресурсната наличност трябва да е равна на стойността на маргиналната производителност на ресурсите, оптималната наличност от оставащи ресурси, която кореспондира с постоянното опазване на околната среда, зависи от (асимптотичната) стойност на продукцията и производителността на ресурсите. Дори когато стойността на продукцията намалява, производителността на ресурсите може да нараства за сметка на заместването на ресурси с капитал. Въпросът е кой от двата ефекта е доминиращ?

Асимптотичната норма на промяна на стойността на продукцията зависи от маргиналната производителност на капитала. Тя, от своя страна, е намаляваща функция на съотношението *капитал-ресурси*. Това съотношение нараства без ограничения. В противен случай и капиталът, и производствените природни ресурси ще намаляват до нула. За да има съпоставимост с анализа на съотношението *капитал-ресурси* на Крауткремер (1985, с.160), ще означим асимптотичната стойност на маргиналната производителност на капитала с ε, като $\varepsilon = lim_{k\to\infty} f_k(k,x)$. Ако $\varepsilon < \rho$, потреблението може да се понижи до нула. Ако маргиналната полезност от ресурсната наличност е крайно число за всички положителни стойности на тази наличност и ако маргиналната полезност от потреблението не е ограничена отгоре, оптималното решение е пълно изчерпване на ресурсната наличност. Затова необходимото условие за оставането и поддържането на част от ресурсната наличност, т.е. постоянното опазване на околната среда, е $\varepsilon > \rho$.

Горното твърдение се доказва по следния начин. При $\varepsilon < \rho$, когато $lim_{t\to\infty} k_t / x_t = \infty$, $lim_{t\to\infty} \dot{c}/c < (\varepsilon - \rho)/\theta < 0$. От тук следва, че $lim_{t\to\infty} c_t = 0$ и $lim_{t\to\infty} u_c = \infty$. Но тъй като $lim_{t\to\infty} f_x(k,x) > 0$, така че $lim_{t\to\infty} u_c f_x = \infty$, затова $lim_{t\to\infty} \mu_t = \infty$. В противен случай се нарушава условие (18) във всеки времеви интервал. А от тук следва, че или $lim_{t\to\infty} u_z f_x = \infty$, или $\lambda > 0$. Когато u_z е крайно число за всяко положително z, $\bar{z} = lim_{t\to\infty} z_t > 0$, което означава, че $\lambda > 0$. Последното обаче нарушава условието за трансверсалност. Изводът е, че при $\varepsilon < \rho$ оптималното решение изисква да се изчерпи цялата ресурсна наличност и да не се опазват екосистемите.

Стойността на ε зависи от еластичността на заместването *капитал-ресурси.* Ако тази еластичност е по-малка от еди-

Икономически растеж

ница ($\vartheta < 1$), средната производителност на ресурсите има горна граница. Като добавим и условието, че наличните ресурси са крайно число, се оказва, че е технологично невъзможно да се поддържа каквото и да е положително потребление в един безкраен времеви хоризонт (т.е. устойчиво развитие). Когато еластичността на заместването е равна на единица, например, когато производствената функция е от типа Коб-Дъглас, поддържането на положително и ненамаляващо ниво на потребление е възможно само ако еластичността на продукцията спрямо капитала е по-голяма от тази спрямо ресурсите. В този случай $\varepsilon = 0$. Следователно, при положителна норма на дисконтиране на полезността $\varepsilon < \rho$ и оптималното решение изключва опазването на екосистемите, в които се намират ресурсите.

И накрая, когато еластичността на заместването е по-голяма от единица, е възможно да се осъществи производство без участие на природните ресурси като производствен фактор. При такава еластичност съотношението *капитал-ресурси* е безкрайно число и маргиналната производителност на ресурсите е неограничена. Затова производството без природни ресурси не може да бъде оптимално решение. Възможни са два сценария. Ако дисконтовата норма е достатъчно голяма, маргиналната производителност на капитала евентуално ще се понижи под дисконотвата норма и оптималното решение ще изключи поддържането на капиталова наличност. Производството и потреблението ще се понижат до нула и ще се изчерпи цялата ресурсна наличност.

Във втория сценарий $\varepsilon < \rho$, еластичността на заместването *капитал-ресурси* $\vartheta > 1$ и – съответно, оптималното решение е икономиката да продължи да се разраства. При увеличаващо се потребление, независимо от оставащата ресурсна наличност, маргиналната норма на заместване между потреблението и благоприятната среда ще нараства непрекъснато. От своя страна маргиналната производителност на ресурсите също ще нараства. Затова нарастващата маргинална норма на заместване ще гарантира оптимално решение с постоянно опазване на околната среда, но само ако надвишава маргиналната производителност на ресурсите.

Нормата на промяна на производствената стойност на ресурсите се представя като $\rho - u_z/\mu$ (виж тълкуването на (7)). И тъй като $\rho > u_z/\mu$, граничните стойности на u_z/μ са нула, когато цената в сянка λ е положително число, и са равни на ρ, когато цената в сянка е нула. От $0 < u_z/\mu < \rho$ следва:

$$lim_{t\to\infty} v_t f_x(k,x) = \infty, \text{ ако } \lambda > 0; \text{ и}$$
$$lim_{t\to\infty} v_t f_x(k,x) = u_z / \rho, \text{ ако } \lambda = 0 \quad (23)$$

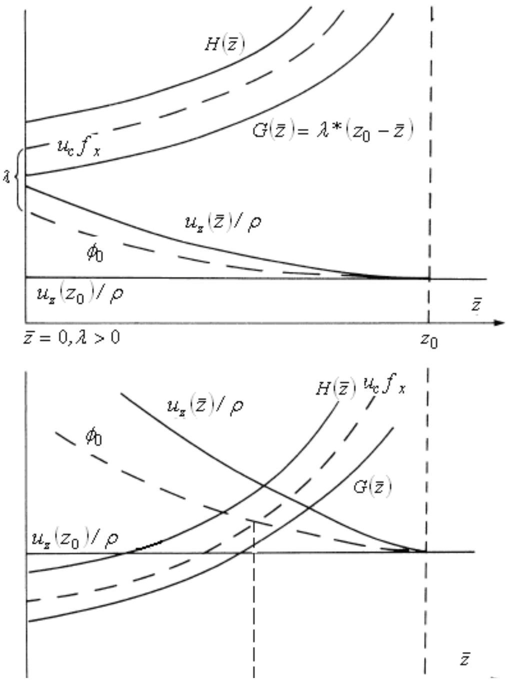
$$\text{и } lim_{t\to\infty} \mu_t = \infty, \text{ ако } \lambda > 0;$$
$$\text{и } lim_{t\to\infty} \mu_t = u_z / \rho, \text{ ако } \lambda = 0 \quad (24)$$

И в двата случая, $\lambda > 0$ или $\lambda = 0$, се достига до асимптотично поведение, което да е съвместимо с условията за ефективност (18-21). Първоначалните размери на капиталовата и ресурсната наличност обуславят по-нататъшната рамка. Първоначалното ниво на добив и потребление трябва да се избере така, че капиталовата и ресурсната наличност винаги да са положителни числа.

Според Дасгупта и Хил (1974), при отсъствие на благоприятна среда за живеене, оптималното първоначално ниво на потребление е това максимално ниво на потребление, което при зададено първоначално ниво на добив не изчерпва капиталовата наличност в края на времевия хоризонт. Освен това, първоначалното ниво на добив трябва да се избере така, че при зададено максимално първоначално потребление, отговарящо на това ниво на добив, ресурсната наличност се изчерпва асимптотично.

Когато ресурсите генерират благоприятна среда за живеене, първоначалните нива на добив и потребление трябва да бъдат съвместими едновременно с първоначалните капиталови и ресурсни наличности и стойността на благоприятната среда за живеене. Както в случая с технологичния прогрес, възможно е да се поставят горна и долна граници на стойността на благоприятната среда за живеене, представени като функция на оставащата ресурсна наличност. Освен това могат да се определят горната и долната граници на производствената стойност на природните ресурси, участващи в производството. Ефективният добив изисква цената в сянка на ресурсите да е равна на тяхната производствена стойност. Споменатите граници ще дефинират условията за оптималното ниво на оставащата ресурсна наличност и следователно на опазването на околната среда. Тези аспекти са илюстрирани на фигура 2.

Ще анализираме някои закономерности, свързани с граничните стойности. Първата закономерност е, че първоначалната производствена стойност на ресурсите трябва да е по-висока от цената в сянка, отнасяща се до ресурсната наличност и използваната технология, но без благоприятната среда за живеене. С други думи c_0 и x_0 трябва да приемат такива стойности, за които $u_c(c_0,z_0) f_x(k_0,x_0)>\lambda^*(z_0-\overline{z})$, където $\lambda^*(z_0-\overline{z})$ е цената в сянка, свързана с първоначалната наличност $(k_0,z_0-\overline{z})$. Тъй като по принцип първоначалната цена в сянка на ресурсите, които генерират благоприятна среда, μ_0, е по-голяма или равна на първоначалната цена в сянка на ресурсите, които не генерират благоприятна среда, μ^*_0, $\mu_0\geq\mu^*_0$, и тъй като $\mu_0=u_c(c_0,z_0)f_x(k_0,x_0)$ и $\mu^*_0=\lambda^*(z_0-\overline{z})$, следва горното неравенство.



Фигура 2. *Заместване на капитала и ресурсите и опазването на околната среда*
Източник: *Крауткремер (1985, с. 162)*

На фигурата отново са представени два хипотетични сценария. В първия сценарий стойността на благоприятната среда за живеене е прекалено малка, за да влияе върху добива на ресурсите. Във втория сценарий оптималното решение включва постоянно опазване на околната среда.

Долната граница на първоначалната производствена стойност на ресурсите е означена с $G(\overline{z})$. Горната граница на същата стойност се получава, след като се оценят долните граници на потреблението и добива. Така определената горна граница също е функция на асимптотичното ниво на оставащата ресурсна наличност и се означава с $H(\overline{z})$.

Втората закономерност е, че постоянното опазване на околната среда е част от оптималното решение, когато $\varepsilon>\rho$. Ко-

Икономически растеж

гато $\rho > 0$, тогава задължително еластичността на заместване между ресурсите и капитала е положително число $(\vartheta > 1)$, а производствената функция се представя като $f(k,0) = \varepsilon k$. Долната граница на първоначалното ниво на потребление се задава от оптималното ниво на потребление, когато в производството не се използват ресурси. От тази граница се извежда долната граница на първоначалното ниво на добив.

Ако означим с $\hat{c}_0$ оптималното ниво на потребление, когато $z_0 = 0$, така че $x_t = 0, \forall t$, следва $\hat{c}_0 = [\varepsilon - (\varepsilon - \rho)/\theta] k_0$. Когато еластичността на заместването *капитал-ресурси* е по-голяма от единица, първоначалното потребление е по-голямо от $\hat{c}_0$.

Третата закономерност следва от условията за ефективност във време нула, производствената стойност на ресурсите да е равна на цената в сянка. Това означава, че:

$$\mu_0 = \phi_0 + \lambda = u_c(c_0, z_0) f_x(k_0, x_0). \quad (25)$$

Горната и долната граници на първоначалната стойност на благоприятната среда за живеене на дадената ресурсна наличност ϕ_0 бяха изведени в преходния раздел. Ако горната граница на ϕ_0 е по-ниска от долната граница на производствената стойност на ресурсите G_z при $\overline{z} = 0$, следва, че $\lambda > 0$ и първоначалните ресурси се изчерпват напълно по протежение на оптималната траектория.

Ако при $\overline{z} = 0$ долната граница на ϕ_0 е разположена над горната граница на производствената стойност на ресурсите H_z първоначалното ниво на добив трябва да се избере така, че асимптотичното ниво на акумулирания добив да е по-малко от първоначалната ресурсна наличност.

Четвъртата закономерност е, че долната граница на първоначалното ниво на потребление, а от тук и границите на оптималното ниво на оставащите ресурси, зависят от капиталовата наличност. По-конкретно, когато еластичността на заместването е по-голяма от обратнопропорционалната стойност на интертемпоралната еластичност на заместването на потреблението $(1/\theta)$, т.е., ако $(\vartheta\,\theta > 1)$, горната граница на първоначалната производствена стойност на ресурсите е намаляваща функция на капиталовата наличност. При това, ceteris paribus, капиталовата наличност е достатъчна, за да осигури положително опазване на околната среда.

Ролята на капиталовата наличност и съотношението между ϑ и θ може да се подчертае по-ясно, ако се анализира функцията на търсенето на ресурсите. При условие, че производствената функция е с постоянна еластичност на заместването *капитал-ресурси*, търсенето на ресурсите се задава с:

$$x = \frac{\varepsilon k}{\left[\dfrac{\mu}{\nu(1-\beta)}\right]^{\vartheta-1} - (1-\beta)^{\vartheta/(\vartheta-1)}}. \quad (26)$$

Повишението на капитала ще повиши производителността на ресурсната наличност, независимо от нейното ниво. При зададена относителна цена в сянка, μ/ν, с нарастване на капиталовата наличност кривата на търсене ще се отмества надясно. От друга страна по-голямата капиталовата наличност ще повиши μ/ν и ще доведе до понижаване на търсеното количество. Дали по-високата капиталова наличност ще повиши или понижи първоначалното търсене на ресурси, зависи от това кой от двата ефекта е по-голям.

Така или иначе, когато еластичността на заместването *капитал-ресурси* е по-голяма от обратнопропорционалната стойност на интертемпоралната еластичност $(\vartheta\theta>1)$, повишаването на капиталовата наличност в крайна сметка води до повишаване на търсенето на ресурсите. В този случай няма обстоятелства, при които да се дефинира оптимално решение с постоянно опазване на околната среда.

4. Обобщаващ коментар

Светът на природата предлага множество услуги за човешкото общество. От една страна природните ресурси са важен фактор в производството на стоки и услуги, а, от друга, природата, със своите екосистеми, създава благоприятна среда за живеене. Вторият вид услуги съдържа природонаучни, възстановителни и естетически стойности (Крутила, 1967). В тази статия е анализирано влиянието на благоприятната среда за живеене върху оптималния растеж и устойчивото икономическо развитие, които зависят от природните ресурси, участващи в производството на стоки услуги. По този начин се дефинират условията, в които оптималното решение включва постоянно опазване на околната среда, когато в нея се намират природните производствени фактори.

Благоприятната среда за живеене, която създават екосистемите, увеличава разходите за най-добрата пропусната възможност на добива на природни ресурси от околната среда. Останалата неизчерпана наличност от тези ресурси генерира своя собствена положителна лихва. Затова цената на ресурсите първоначално е по-висока, но впоследствие ще нараства по-бавно в сравнение със сценария, в който ресурсите, участващи в производството, не създават благоприятна среда за живеене.

Реалната стойност на благоприятната среда за живеене зависи от нивото на потребление. Ако потреблението пада до нула, оптималното решение изисква да се изчерпи цялата наличност дори когато ресурсите генерират благоприятна среда за живеене. Технологичният прогрес и заместването *капитал-ресурси* са двата основни инструмента, с които може да се поддържа постоянен растеж на потреблението. Все пак, растежът на потреблението е възможен, когато нараства маргиналната производителност на ресурсите. Производствената стойност на ресурсите, участващи в производството, е нарастваща дори когато стойността на потреблението започва да намалява. Затова коефициентът на въздействие на технологичния прогрес или еластичността на заместването, която е достатъчно голяма да гарантира постоянен растеж на потреблението, сами по себе си не могат да осигурят оптимална постоянна защита на околната среда. Условията за такава защита изискват повече от обикновения спад на цената на стоките спрямо стойността на екосистемите. Затова и тези условия са много по-строги, отколкото в останалите модели на растежа и устойчивото развитие.

От гледна точка на заместването *капитал-ресурси*, оптималното ниво на опазване на околната среда зависи от първоначалната капиталова наличност. Този извод е съвместим с резултатите, получени от други модели, в които променливата на състоянието участва в целевата функция (виж Кропър, 1980; Райдър и Хил, 1973). В такива случаи първоначалната капиталова наличност влияе върху първоначалните нива на добив и потребление, които, от своя страна, определят производствената стойност на ресурсите, използвани като производствени фактори. Ако еластич-

Икономически растеж

ността на заместването е по-голяма от обратнопропорционалната интертемпорална еластичност на заместването, увеличаването на първоначалната капиталова наличност ще повиши оптималното ниво на опазване на околната среда.

Икономиката може да се окаже способна да предотврати евентуален спад в нивото на потребление чрез използването на възобновими ресурси или т.нар. опорна технология. Влиянието на благоприятната среда за живеене върху опазването на околната среда в тези случаи е обект на отделен анализ.

Цитирани източници:

Arrow, Kenneth J. & Anthony C. Fisher, 1974. "Environmental Preservation, Uncertainty, and Irreversibility", *The Quarterly Journal of Economics*, MIT Press, vol. 88 (2), pages 312-19, May.

Cropper, M. L., 1980. "Pollution Aspects of Nuclear Energy Use", *Journal of Environmental Economics and Management* 7 (4): 334–352.

Dasgupta, Partha and Heal, Geoffrey, 1974. "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources", *Review of Economic Studies*, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources , 41, 3-28.

Fisher, Anthony C & John V. Krutilla, & Charles J. Cicchetti, 1972. "The Economics of Environmental Preservation: A Theoretical and Empirical Analysis", *American Economic Review*, American Economic Association, vol. 62 (4), pages 605-19, September.

Krautkraemer, Jeffrey A., 1985. "Optimal Growth, Resource Amenities and the Preservation of Natural Environments", *Review of Economic Studies*, 52 (1), 153-170.

Krutilla, John V., 1967. "Conservation Reconsidered", *American Economic Review*, 57 (4), 777-786.

Krutilla, John V. and Anthony C. Fisher, 1985. The Economics of Natural Environments: Studies in the Valuation of Commodity and Amenity Resources, 2nd edition. Washington D.C.: Resources for the Future.

Ryder, H. G., G. M. Heal, 1973. "Optimal Growth with Interdependent Preferences", *Review of Economic Studies*, 40 (1), 1-32.

Smith, V. Kerry, 1979. "Natural Resource Scarcity: A Statistical Analysis", *The Review of Economics and Statistics*, MIT Press, vol. 61 (3), pages 423-27, August.

Solow, Robert M., 1974. "Intergenerational Equity and Exhaustible Resources", *Review of Economic Studies*, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 41, 29-45.

Vousden, Neil, 1973. "Basic theoretical issues of resource depletion", *Journal of Economic Theory*, Elsevier, vol. 6 (2), pages 126-143, April.