

ОРИГИНАЛЬНЫЕ  
СТАТЬИ

УДК 630\*1; 502/504:1/9; 502.1:001.83

**ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ  
“УГЛЕРОДНЫМ ЛЕСОМ”\***

© 2013 г. В. Л. Гавриков<sup>1</sup>, Р. Г. Хлебопрос<sup>1,2</sup>

*Сибирский федеральный университет<sup>1</sup>  
660041 г. Красноярск, пр. Свободный, 79*

*Международный научный центр исследований экстремальных состояний организма при Президиуме  
Красноярского Научного Центра СО РАН<sup>2</sup>  
660036 Красноярск, Академгородок, д 50*

*E-mail: vgavrikov@sfu-kras.ru*

Поступила в редакцию 01.02.2013 г.

В статье рассматриваются основные аспекты нового вида хозяйствования – “углеродного леса”. Управление “углеродным лесом” представляет собой комплексную проблему, лежащую на стыке экологии и экономики. Предложена качественная схема динамики хозяйственных и экологических составляющих этого вида хозяйствования.

*“Углеродный лес”, рост, дисконтирование, ценность леса.*

Одной из наиболее актуальных мировых проблем последнего двадцатилетия была и остается экологизация жизни современного человечества и ее частная реализация – необходимость предотвращения существенных изменений глобального оборота углерода, источником которых является хозяйственная деятельность. Неослабевающая актуальность этой тематики определяется не в последнюю очередь тем, что международному сообществу не удается перейти от осознания проблемы к практическим шагам по реализации совместных действий.

Одной из причин такого положения дел является, на наш взгляд, недостаточная проработанность увязки между собой всех существенных аспектов проблемы, которые определяют суть вопроса. Сохранение приемлемых параметров глобального баланса углерода возможно только при решении этой проблемы одновременно с нескольких научных позиций: экологии, экономики и психологии. Причем каждая из позиций должна найти в общей картине свое адекватное место.

Экология подходит к данному вопросу с биологических позиций. Поскольку человеческая цивилизация выбрасывает в атмосферу некоторую добавочную долю углекислоты, особое внимание привлекается к тем биомам, которые в силу своей природы могли бы служить долговременными депонентами этой избыточной углекислоты. В качестве наиболее вероятных претендентов на эту роль рассматриваются сфагновые болота [6] и в особенности леса [1–5, 8, 12–14]. Именно эти биомы способны надолго задержать атмосферную углекислоту в связанном состоянии органического углерода – в торфе и древесине.

Сложность проблемы сохранения глобального углеродного цикла состоит в том, что она не является чисто научной экологической проблемой. Человек живет в биосфере не как обычный биологический вид, но вместе со своей экономикой, которая представляет собой важнейший механизм его существования.

В соответствии с современными представлениями экономической науки мы приближаемся к пределу того, что природные ресурсы, имеющаяся экологическая среда, ее экологические “услуги” могут в теоретических построениях считаться “бесплатными”. Основой анализа является общий экономический принцип сопоставления затрат и результатов. Именно от структуры затрат и по-

\* Исследование выполнено в Сибирском Федеральном университете, проект “Биосферный потенциал и экономическая роль долговременной углеродопоглощающей способности таежных экосистем Восточной Сибири (на примере заповедника “Столбы”)” в рамках госзадания Минобрнауки России в 2013 г.

лученных результатов будет зависеть экономический инструментарий, применяемый в экологической политике [7]. В частности, Г.А. Моткин [7] предложил оценивать ренту  $R$  при использовании биоресурсов определенной экосистемы в виде:

$$R = \sum_{t=0}^T (W_t - Q_t)(1+E)^{-t}, \quad (1)$$

где  $W_t$  – цена выхода биоресурсной продукции некоторой экосистемы в год  $t$ ,  $Q_t$  – затраты на эксплуатацию биоресурсов, а также на их восстановление или вовлечение в хозяйственный оборот новых ресурсов,  $E$  – норма дисконта,  $T$  – время эксплуатации биоресурсов.

Задача данной работы состоит в том, чтобы рассмотреть перечисленные выше аспекты в контексте возможного решения проблемы сохранения углеродного цикла с помощью выращивания “углеродного леса”. Термин “углеродный лес” появился в ходе научных дискуссий о путях противодействия угрозам нарушения глобальных циклов ([9], см. выступление академика А.С. Исаева) и пока не имеет общепринятого определения. Однако в целом создание “углеродного леса” и управление им означает особый вид хозяйствования в природопользовании, в котором одной из главных, хотя и не единственной целью является эффективное связывание избытка углекислоты, попадающей в атмосферу в результате промышленной деятельности.

Предполагается, что субъект хозяйствования имеет скорее внутрорегиональный масштаб, сопоставимый с отдельным предприятием, городом и т.п. Экономическая подпитка этого вида хозяйствования возможна, если на национальном уровне возникнут внутристрановые рынки квот на выброс  $\text{CO}_2$ . Предполагаемая система торговли квотами должна накладывать экономическое “наказание” на эмиссию углекислоты и, с другой стороны, поощрять ее поглощение – так называемый секвестр  $\text{CO}_2$  лесными массивами.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

### *Феномен роста*

Характерные черты биологического роста в различных вариациях проявляются у разных организмов, в том числе и у деревьев. В самом общем виде рост представляется как так называемая сигмоидная (или S-образная) кривая (рис. 1, А), описывающая динамику каких-либо измеримых показателей в зависимости от времени. Широко известной характеристикой этой кривой является наличие более или менее явных стадий: первоначального медленного роста, быстрого роста и завершающего медленного роста.

Считается, что на завершающей стадии размер (или биомасса) растительного организма  $X$  стремится к некоторому пределу  $a$  (рис. 1, А), который представляет собой максимально возможный размер организма в данных условиях роста.

Особый интерес в рассматриваемом здесь контексте представляет рост совокупности взаимодействующих деревьев, которые в зависимости от научных традиций могут обозначаться как древостой, лесные насаждения, популяции и т.п.

Одновозрастные древостой имеют качественно такую же динамику роста, что и индивидуальные деревья. Когда деревья, достигнув предельного возраста, начинают отмирать, одновозрастный древостой, предоставленный сам себе и в отсутствие катастроф типа пожаров, претерпевает ряд циклических трансформаций, превращающих его в разновозрастный лес. При этом может происходить или не происходить смена пород. Как правило, стволовая масса разновозрастного леса со временем стабилизируется на более низком уровне, чем максимальная стволовая масса одновозрастного леса (рис. 1Б).

Одновозрастные древостой имеют качественно такую же динамику роста, что и индивидуальные деревья. Когда деревья, достигнув предельного возраста, начинают отмирать, одновозрастный древостой, предоставленный сам себе и в отсутствие катастроф типа пожаров, претерпевает ряд циклических трансформаций, превращающих его в разновозрастный лес. При этом может происходить или не происходить смена пород. Как правило, стволовая масса разновозрастного леса со временем стабилизируется на более низком уровне, чем максимальная стволовая масса одновозрастного леса (рис. 1Б).

В связи с последним обстоятельством там, где хозяйствование направлено на получение древесной массы, сбор урожая обычно осуществляют до того, как одновозрастный древостой начинает распадаться. С достаточно давних времен известно (см., например, [10]), что состояние леса, при котором осуществлять рубку деревьев наиболее выгодно с экономической точки зрения, характеризуется максимальным средним приростом (техническая спелость).

В экологических исследованиях часто используемым инструментом анализа является зависимость текущего прироста  $\dot{X}$  от биомассы  $X$ , которая в рассматриваемом случае имеет колоколообразную форму, пересекая ось  $X$  в двух точках – в нуле и точке  $a$ , то есть асимптоте функции  $X(t)$  (рис. 1, А, В). Именно такая форма зависимости  $\dot{X}(X)$  математически обеспечивает сигмоидную форму функции  $X(t)$ . Обычно зависимость  $\dot{X}(X)$  именуется фазовым портретом процесса, который отражает внутренние механизмы динамики.

Форма фазового портрета позволяет наглядно продемонстрировать важное свойство среднего прироста. Максимум среднего прироста (рис. 1, В, пунктирная линия) располагается между максимумом текущего прироста и максимально возможным запасом биомассы  $a$ . Более того,

функция среднего прироста обязательно пересекает функцию  $\dot{X}(X)$  именно в точке своего максимума независимо от формы функции роста  $X(t)$ . Это можно продемонстрировать с помощью несложных выкладок.

По определению, средний прирост  $\bar{X}(t) = X(t) \cdot t^{-1}$ . Для нахождения точки максимума необходимо продифференцировать эту функцию по  $t$  и приравнять к нулю:  $\bar{X}'_t = \dot{X} \cdot t^{-1} + X(-t^{-2}) = 0$ . Легко видеть, что в этой ситуации  $\dot{X} = X \cdot t^{-1} = \bar{X}$ , то есть в точке своего максимума средний прирост  $\bar{X}$  совпадает с производной  $\dot{X}$  (приростом).

*Феномен ценности леса*

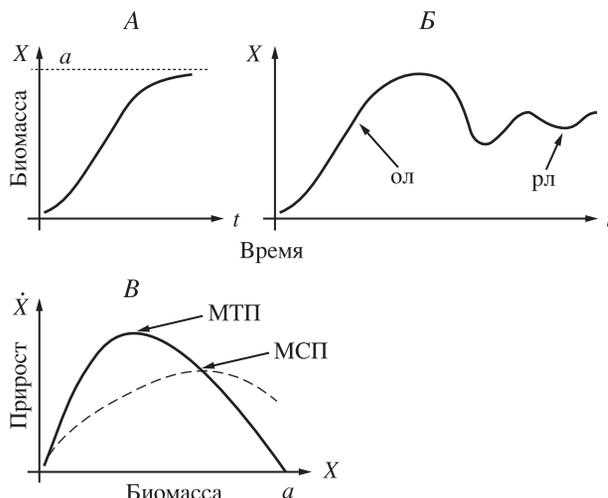
Доходную часть “углеродного леса” составляют два компонента: запас (обозначаемый здесь как  $X$ ) и текущий прирост ( $\dot{X}$ ). Запас представляет собой традиционную цель хозяйствования и является медленно меняющейся величиной. В противоположность запасу текущий прирост быстро меняется. Он характеризует скорость роста, то есть поглощения углекислоты, в любой момент, когда рост происходит. В связи с этим результат работы древостоя по поглощению углекислоты может быть подсчитан, например, за сезон роста или один год.

Задача ставится таким образом так, чтобы представить некоторую функцию  $F(X, \dot{X})$ , которая зависит и от прироста, и от запаса, и характеризует ценность данного лесного массива как объекта хозяйствования. Традиционно в экономических построениях используются аддитивные формы, и функцию  $F$  можно записать как:

$$F(X, \dot{X}) = X \cdot c_1 + \dot{X} \cdot c_2, \quad (2)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – фактически сложившиеся цены на соответствующий вид продукции, которые в реальности могут зависеть от времени.

Функция  $F$  показывает, какой доход можно получить одновременно, получив оплату за поглощение углекислоты и реализовав всю древесину. Если же оставить лес расти дальше, то в вычислении дохода будет принимать участие только второй член суммы, однако этот доход будет осуществляться в течение многих лет. Возможен и промежуточный вариант, при котором пользование лесом происходит постепенно. В этом случае запас и прирост будут изменяться не только в силу естественных причин, но и в зависимости от схемы пользования. Аддитивная форма функции  $F$  (2) не означает, что поглощение углекислоты и реализация товарной древесины являются независимыми переменными. Выращивание древесины



**Рис. 1.** Основные качественные особенности роста дерева и древостоя: качественная картина роста одного дерева и одновозрастного древостоя (А), долговременная динамика леса за пределами жизни одного поколения (Б), зависимость текущего прироста и среднего прироста от биомассы (В).  
а – асимптота, максимально достижимый размер/биомасса, ол – одновозрастный лес, рл – разновозрастный лес, мтп – точка максимального текущего прироста, мсп – точка максимального среднего прироста.

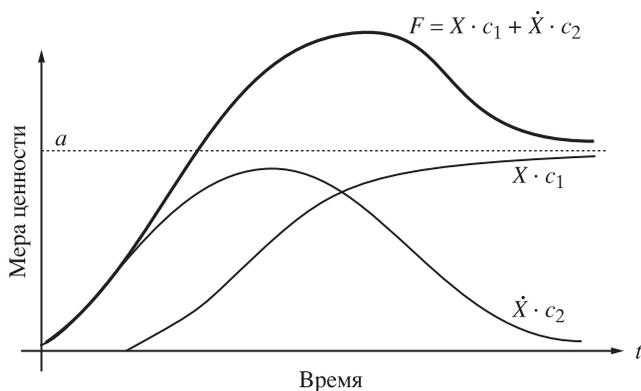
невозможно без поглощения углекислоты, а отрицательный баланс по углекислоте за год означает, что прироста биомасса, которая по большей части представлена древесиной. Однако существует вполне очевидное ограничение, связанное с тем, что вырубка и продажа древесины прекращают поглощение углекислоты вырубленными деревьями, хотя и не означают немедленную эмиссию углекислоты обратно в атмосферу.

Поскольку динамика входящих в функцию  $F$  компонентов известна, можно представить и ее форму в зависимости от времени (рис. 2). Форма функции  $F$  учитывает тот факт, что цена деловой древесины до определенного возраста древостоя равна нулю.

Функция  $F$  может иметь экстремум, то есть максимум ценности в определенный момент времени. Наличие или отсутствие экстремума определяется тем, может ли производная функции  $F$  быть равна нулю:

$$\dot{F} = \dot{X} \cdot c_1 + \ddot{X} \cdot c_2 = 0. \quad (3)$$

Члены выражения (3)  $\dot{X}$ ,  $c_1$  и  $c_2$  – всегда положительны, а  $\ddot{X}$  после максимума прироста становится величиной отрицательной. Отсюда следует, что максимум у функции  $F$  может быть, если  $c_2$  (цена поглощения углекислоты) достаточно велика по сравнению с  $c_1$  (цена древесины). В целом,



**Рис. 2.** Качественное представление функции  $F$  как суммы ценностей запаса древесины ( $X$ ) и поглощения углекислоты ( $\dot{X}$ ).

$c_1$  и  $c_2$  — фактически сложившиеся цены на соответствующий вид продукции.

поскольку функция  $F$  представляет собой сумму разных функций с коэффициентами, то, очевидно, соотношения этих коэффициентов приближают ее либо к одной из входящих функций, либо к другой.

#### *Феномены дисконтирования и затрат*

Как известно, идея дисконтирования состоит в том, что возможные будущие результаты экономической деятельности необходимо привести к настоящему времени, то есть сделать их сопоставимыми с настоящим положением дел. Однако делать это можно по-разному, вкладывая в дисконтирование разный содержательный смысл, даже если используются математически родственные модели.

В экономике функцию дисконтирования  $D(t)$  принято представлять с использованием формулы сложных процентов:

$$D(t) = (1 + E)^{-t}, \quad (4)$$

где  $E$  — норма дисконтирования,  $t$  — время или номер периода учета, к которому применяется дисконтирование. Очевидно, эта модель восходит к банковской практике, в которой издавна с помощью сложных процентов исчислялся рост банковских депозитов, а также задолженность по взятым кредитам. Данная модель управляется единственным параметром  $E$ , который численно выражается долями единицы, так что выражение  $1/(1 + E)$  всегда меньше единицы, и вся функция  $D$ , таким образом, является убывающей от  $t$ .

В экономических расчетах эффективности проектов является нормой использование принципа

“компенсации за ожидание”, согласно которому и будущие доходы, и будущие долги для сравнимости должны приводиться к одному моменту времени, например, сегодняшнему дню. Следствием этого является тот факт, что доходы, предполагаемые через много лет, сегодня (в силу дисконтирования) имеют меньшую по сравнению с номинальной стоимостью [11].

Считается, что оптимальным значением для  $E$  является ставка рефинансирования (учетная ставка), установленная центральным регулятором. И ставка рефинансирования, и проценты по депозитам существенным образом коррелируют с инфляцией, даже если не всегда известно, что является первопричиной. В связи с этим формула (4) фактически есть отражение уровня инфляции в экономике. Формула (4) позволяет владельцу денежных средств ценить, как они будут обесценены, если лежат без движения.

Предположим, что мы владеем некоторыми материальными активами, например, землей, работающим предприятием или лесной территорией, которые имеют свою рыночную цену. Очевидно, что с ходом времени, если в экономике не происходит катастрофических изменений и качество активов не ухудшается, денежный эквивалент этих активов может увеличиваться со скоростью инфляции и, таким образом, их цена не обязательно должна подвергаться дисконтированию по модели (4).

Означает ли это, что эти материальные активы вообще не подвержены дисконтированию? Этот вопрос исследовался в несколько ином, не инфляционном, ракурсе [15, 16]. Возможно рассмотреть ситуацию таким образом, чтобы попытаться явным образом учесть восприятие субъектом экономической жизни, которое оказывает существенное влияние на принятие им экономических решений.

Анализ, проведенный упомянутыми авторами, основывался на другой модели дисконтирования:

$$D(t) = e^{-\lambda t}, \quad (5)$$

где  $e$  — основание натурального логарифма, а  $t$  — время. Единственный управляющий параметр  $\lambda$ , образно названный “параметром эгоизма”, характеризует, насколько далеко в будущее склонен заглядывать субъект. Иными словами, этот параметр описывает, насколько высока для него ценность экономических результатов, которые еще только случатся в будущем, возможно, после его жизни. При  $\lambda \approx 0$  в представлении субъекта снижение ценности практически не происходит (поскольку  $e^0 = 1$ ), и то, что достанется его детям и внукам,

для субъекта так же ценно, как и для себя самого. При  $\lambda \gg 1$  дисконтирование происходит очень быстро. Это означает, что ценность результата в настоящем времени несравненно выше, чем его ценность в будущем, даже возможно в очень недалеком. Таким образом, модель (5), в отличие от модели (4), акцентирует внимание на: 1) психологическом восприятии экономических реалий; 2) анализе процессов с длинными временами развития, соизмеримыми с длительностью жизни человеческого поколения.

В рамках модели (5) проанализировано влияние величины параметра дисконтирования  $\lambda$  на экономическую осуществимость деятельности по искусственному лесовозобновлению. Как известно, производственный цикл в лесном хозяйстве занимает, как минимум, десятки лет и, таким образом, этот случай соответствует предпосылкам данной модели. При промышленном выращивании древесины посадки леса применяются для того, чтобы сократить его достижение спелости и тем самым получить выигрыш в цене, однако эти мероприятия требуют и предварительных вложений.

В результате анализа установлено, что прибавка в цене  $\eta$  (рис. 3), получающаяся в результате проведения лесопосадок, нелинейным образом зависит от параметра дисконтирования  $\lambda$ . Из этой зависимости следовало, что если  $\eta_0$  – есть цена лесопосадок в данных условиях, то лесопосадки экономически осмысленно будут осуществляться в диапазоне от  $\lambda_1$  до  $\lambda_2$  (рис. 3). В этом диапазоне затраты на лесопосадки воспринимаются как менее существенные по сравнению с будущей прибавкой в цене леса.

Заметим, что и модель (4), и модель (5) имеют, по сути, математически одинаковую – экспоненциальную – форму вида  $ax^t$ , где  $x$  меньше единицы. В связи с этим они производят тот же самый математический эффект независимо от закладываемых содержательных идей.

Пусть  $a$  – стоимость леса, создаваемая за один производственный цикл, а  $m$  – число производственных циклов. Тогда общая стоимость в чередующихся производственных циклах  $A$  будет равна  $A = a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_{m-1}$ . В предположении, что стоимости, создаваемые в отдельных циклах, приблизительно одинаковы, то есть  $a_i \approx a$ , общая стоимость будет простой возрастающей функцией времени  $A = i \cdot a$ , где  $i$  – порядковый номер производственного цикла.

Если же применяется дисконтирование, то общая стоимость принимает вид  $A = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_{m-1} \cdot x^{m-1}$ . Это известная формула геометрической прогрессии, которая при прини-

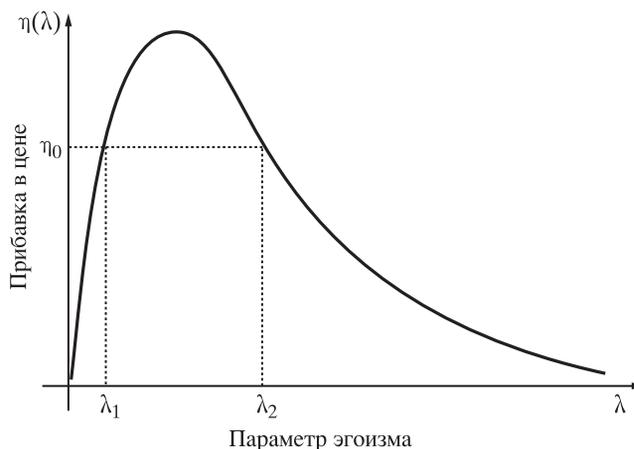


Рис. 3. Зависимость прибавки в цене леса от “параметра эгоизма”  $\lambda$

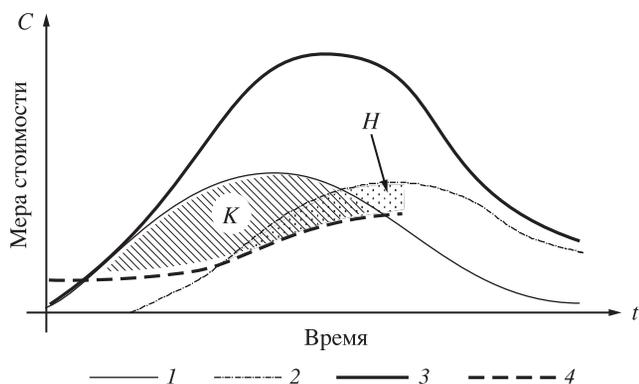
$\eta_0$  – затраты на посадку леса,  $\eta = \frac{e^{\lambda\tau} - 1}{e^{\lambda T}}$ , где  $T$  – время достижения лесом спелости при естественном возобновлении,  $\tau$  – интервал, на который сокращается достижение лесом спелости при искусственном возобновлении [16].

маемых предположениях (равенство стоимостей в отдельных циклах) имеет конечную сумму  $A = (a(1 - x^m)/(1 - x))$ , а предел суммы бесконечно-го ряда равен  $a/(1 - x)$ .

Иными словами, без дисконтирования в бесконечном времени общая стоимость  $A$  равна бесконечности, а при наличии дисконтирования общая стоимость ограничена (конечна) даже в бесконечном времени. Это свойство суммарной стоимости обсуждалось в рамках модели (5), и оно может прояснить некоторые свойства функции  $\eta(\lambda)$  (рис. 3). Если “параметр эгоизма”  $\lambda = 0$ , в сознании человека стоимость земли, занятой лесом, в чередующихся поколениях уже бесконечна, что не стимулирует его к увеличению этой стоимости. При  $\lambda \gg 1$  человек живет сегодняшним днем и не в состоянии согласиться с затратами в долгосрочные проекты, каковым является лесовыращивание.

Затраты являются неотъемлемой составляющей любого вида хозяйствования в лесу. Вместе с тем, их объем и динамика ключевым образом определяются конкретной ситуацией. В одном случае можно рассматривать взятие в аренду лесопокрытой площади накануне рубки главного пользования, в другом – организацию плантационного лесовыращивания с ранних стадий роста деревьев. Очевидно, что концепции “углеродного леса” больше соответствует второй случай.

М.Р.В. Уиллиамс [11] приводит оценки стоимости лесохозяйственных мероприятий при осуще-



**Рис. 4.** Качественная картина динамики результатов и затрат в проекте “углеродного” леса

$K$  – сумма доходов от поглощения углекислоты,  $H$  – сумма доходов от реализации древесины. Динамика дисконтированных: 1 – доходов от поглощения углекислоты, 2 – доходов от реализации древесины, 3 – суммарной ценности лесонасаждения, 4 – расходов по проекту.

ствлении проектов лесовыращивания в Великобритании. В состав проводимых операций проекта он включает: покупку земли, подготовку места для посадки, дренирование участка, устройство заборов, покупку и посадку саженцев, прополку, ремонт дренажной системы, обрезку сухих ветвей, обрезку ветвей на растущих деревьях, освещение, прореживание, валку, трелевку, первичную обработку древесины, ее погрузку и вывоз.

В рассматриваемом здесь контексте важно подчеркнуть, что до стадии прореживания затраты являются “чистыми”, ничем не компенсируемыми. Начиная со стадии прореживания, затраты рассчитываются на единицу объема растущего древостоя и, таким образом, в известной мере (с учетом разных стоимостей различных операций) они должны следовать динамике запаса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях высокого уровня дисконтирования, связан ли он с инфляцией или ментальными качествами людей, экономическое выживание проектов по лесовыращиванию критически зависит от возможностей поступления доходов на ранних стадиях. Как показывают расчеты рентабельности лесовыращивания по классическим методикам [11], едва ли не большая часть прибыли на лесных плантациях Западной Европы происходит от форм лесопользования задолго до главной рубки. Достаточно часто европейские государственные органы проводят политику субсидирования лесопосадок, которая выполняет роль получения

доходов на ранних стадиях проектов. Вместе с тем, политика субсидирования является, очевидно, не рыночным механизмом. Возможное возникновение рынка квот на выбросы также зависит от политических решений, но в то же время создает рыночный механизм стимулирования позитивных изменений в сфере охраны биосферных циклов. В отличие от субсидирования факта лесопосадок, учет углеродопоглощающей способности дает четкий количественный критерий “заработанного” лесонасаждением.

Таким образом, суммируя сведения по важнейшим феноменам, оказывающим влияние на концепцию “углеродного леса”, можно представить следующую качественную картину хозяйствования в таком лесу. На рис. 4 область  $H$  представляет собой экономический результат от производства деловой древесины. По объективным причинам получение этого результата значительно отсрочено и уменьшено дисконтированием. В то же время, область  $K$  есть экономический результат от “работы” по углеродопоглощению, он становится положительным сравнительно рано, что может обеспечить рентабельность проекта.

На основе этих представлений можно детализировать формулу (1) следующим образом:

$$R = \sum_{t=0}^T [X(t) \cdot c_1(t) + \dot{X}(t) \cdot c_2(t) - Q(t)] \cdot D(t),$$

где  $X$  – запас древесины,  $\dot{X}$  – физический объем поглощенной углекислоты,  $c_1$  и  $c_2$  – фактически сложившиеся цены на соответствующий вид продукции,  $Q$  – затраты на создание, поддержание и эксплуатацию лесных насаждений. Выбор формы функции дисконтирования  $D$  может зависеть от временных масштабов проекта, при этом могут быть использованы модели (4) и (5).

В заключение необходимо упомянуть об одном стратегически важном аспекте лесохозяйствования по “углеродной” модели. Речь идет о предотвращении обратной эмиссии углерода в атмосферу после произведенной рубки или, иными словами, обеспечении постоянства накопления углерода. Существует точка зрения, согласно которой в сфере секвестрирования углекислоты будет существовать рынок “углеродных” прав, который должен стимулировать отсутствие обратной эмиссии. Авторы не оспаривают необходимость такого подхода, однако, как было упомянуто в начале статьи, в данной работе принимается взгляд на проблему с точки зрения отдельного предприятия. Акцент здесь делается на понимание того, как можно было бы стимулировать эти предприятия к массовому лесовозобновлению и заботе о теку-

щей продуктивности древостоев. Для того, чтобы учесть циркулирование “углеродных” прав, должны быть разработаны более широкие модели, рассматривающие вопрос на национальном и международном уровнях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н.* Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам // *Лесоведение*. 1998. № 3. С. 84–93.
2. *Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н., Честных О.В.* Динамика пулов и потоков углерода на территории лесного фонда России // *Экология*. 2005. № 5. С. 323–333.
3. *Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Честных О.В., Сонген Б.* Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. 212 с.
4. *Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Прыжников А.А., Замолодчиков Д.Г.* Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // *Лесоведение*. 1993. № 5. С. 3–10.
5. *Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолодчиков Д.Г., Прыжников А.А.* Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. М.: Центр экологической политики, 1995. 156 с.
6. *Кнорре А.А., Ваганов Е.А., Шашкин А.В., Шульце Э.-Д.* Теоретико-экспериментальный способ оценки аккумуляции углерода в болотных экосистемах // *Доклады АН*. 2003. Т. 388. № 1. С. 135–137.
7. *Моткин Г.А.* Экономическая оценка средообразующих функций экосистем // *Экономика и математические методы*. 2010. Т. 46. № 1. С. 3–11.
8. *Нильссон С., Ваганов Е.А., Швиденко А.З., Столбовой В., Рожков В.А., МакКаллум И., Йонас М.* Углеродный бюджет растительных экосистем России // *Доклады АН*. 2003. Т. 393. № 4. С. 541–543.
9. Проблема общенаучного звучания. Обсуждение доклада // *Вестник РАН*. 2006. Т. 76. № 1. С. 25–29.
10. *Рудзкий А.* Руководство к устройству русских лесов. СПб.: Издание А.Ф. Девриена, 1893. 484 с.
11. *Уиллиамс М.Р.В.* Рациональное использование лесных ресурсов (организация и управление): Пер. с англ. М.: Экология, 1991. 128 с.
12. *Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В., Коровин Г.Н., Зукерт Н.В.* Леса России как резервуар органического углерода биосферы // *Лесоведение*. 2001. № 5. С. 8–23.
13. *Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Нефедьев В.В., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И., Гамбург С.П.* Определение запаса углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов // *Лесоведение*. 1997. № 5. С. 51–66.
14. *Федоров Б.Г., Моисеев Б.Н., Синяк Ю.В.* Поглощающая способность лесов России и выбросы углекислого газа энергетическими объектами // *Проблемы прогнозирования*. 2011. № 3. С. 127–142.
15. *Хлебопрос Р.Г., Охонин В.А., Фет А.И.* Катастрофы в природе и обществе: математическое моделирование сложных систем. Новосибирск: Сова, 2008. 359 с.
16. *Хлебопрос Р.Г., Ясиевич И.Н., Басканова Т.Ф.* Параметры, влияющие на искусственное лесовозобновление // *Сибирский экологический журнал*. 1999. № 4. С. 425–430.

## Phenomenological Model of the “Carbon-sequestering” Forest Management

V. L. Gavrikov, R. G. Khlebopros

The key aspects of the new “carbon-sequestering forest” management practice are considered in the paper. The “carbon-sequestering” forest management is an interdisciplinary issue at the crossing of ecology and economics. The qualitative scheme of the economic and ecological components of the “carbon-sequestering” forest management is proposed.

*“Carbon-sequestering” forest management, growth, discounting, forest value.*