

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ЦИВИЛИЗАЦИИ ОСТРОВА ПАСХИ

До нашего времени сохранилось всего 7 цивилизаций, хотя их могло бы быть гораздо больше — несколько десятков. По сей день ученым не удается до конца выяснить причины гибели таких великих цивилизаций, как, например, цивилизации майя или этрусков. Существуют свидетельства о том, что эти цивилизации достигли очень высокого уровня развития. Есть множество теорий о причинах, по которым эти цивилизации, достигнув пика своего развития, переживали кризис — производство стало сокращаться, население уменьшаться, и в итоге цивилизация деградировала. Не менее интересно, как цивилизация могла «спастись», т.е. как могли бы быть предотвращены причины ее гибели.

Цивилизация на острове Пасхи, который находится в Тихом океане, вдали от всех других обитаемых земель, — яркий пример погибшей цивилизации. Главной загадкой для европейцев, впервые высадившихся на этом острове в пасхальное воскресенье 1722 г., было большое количество массивных статуй из вулканического камня на протяжении всего острова. Однако остров был пустынным и малонаселенным (на нем жило тогда около 3 тыс. островитян), а местные жители ничего не знали (или не хотели рассказывать) о возведении статуй.

Тайна острова Пасхи является одной из наиболее популярных загадок истории. Для ее разгадки предлагались самые разные версии — вплоть до фантастических инопланетян. Главной научной версией объяснения гибели цивилизации на острове Пасхи в наши дни является теория перенаселения. В 1998 г. канадские экономисты Джеймс А. Брендер и М. Скотт Тейлор проанализировали взаимовлияние людей и окружающей среды на острове Пасхи с помощью модели Рикардо-Мальтуса, описывающей общество, в котором индивиды используют возобновляемые ресурсы. В 2000 г. австралийские экономисты Джон Пеззи и Джон Андерис усовершенствовали и расширили эту модель, добавив новые условия\*.

\* Brander J.A., Taylor M.S. The Simple Economics of Easter Island: A Ricardo-Malthus Model of Renewable Resource Use // American Economic Review. 1998. Vol. 88. P. 119–138. – Режим доступа: <http://works.bepress.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=taylor>; Pezzey J.C.V., Anderies J.M. Some Further Economics of Easter Island: Adding Subsistence and Resource Conservation (2000). — Режим доступа: [http://een.anu.edu.au/download\\_files/eeep0002.pdf](http://een.anu.edu.au/download_files/eeep0002.pdf).

В данном реферате сделан обзор работы Пеззи и Андериса, а также рассмотрены способы дальнейшего улучшения их модели и возможности применения такого подхода к изучению гибели других древних цивилизаций.

### **Предпосылки модели**

Последние исследования доказали, что остров Пасхи был открыт и населен небольшой группой полинезийцев (несколько десятков человек) около 400 г. н.э. В то время на острове рос большой пальмовый лес. Вероятно, к 1400 г. население выросло до 10 тыс. чел. и достигло своего пика, после чего начался спад<sup>1</sup>.

Брендер и Тейлор построили модель, связывающую возобновляемые ресурсы (леса и почва) с ростом населения. Ресурсы потребляются обществом, рождаемость в котором выражается мальтузианской зависимостью от потребления ресурсов на душу населения. Эта модель похожа на логистическую модель «хищник — жертвы» Лотки-Вольтерры, где «хищниками» являются люди, а «жертвами» — ресурсы.

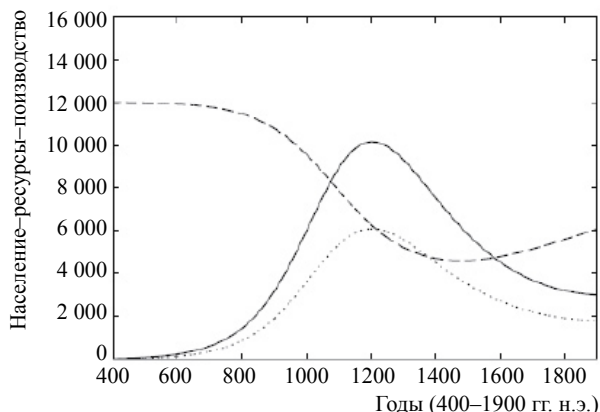
В модели Брендера-Тейлора люди разделяют свое время на потребление ресурсов и на «производство». Под последним в случае острова Пасхи имеется в виду возведение статуй, а в других странах это могло быть любое занятие, основным производственным фактором которого является труд (скажем, строительство пирамид). Индивиды стремятся максимизировать полезность на душу населения в настоящий момент.

На основе построенной ими модели Брендер и Тейлор предположили, что рост населения ведет к истощению ресурсов с последующим уменьшением населения несколькими веками позже. Достоверность данного предположения подтверждена археологическими исследованиями.

Основной вопрос, поднятый Брендером и Тейлором, состоял в том, почему же на острове Пасхи не сформировались институты, которые могли бы предотвратить коллапс системы. Ключевыми элементами, которые могут повлиять на успех институциональных реформ, как отмечали канадские исследователи, являются общее понимание проблемы истощения ресурсов в обществе и соответствующее поведение индивидов.

В работе Пеззи и Андериса модель Брендера-Тейлора расширена путем добавления, во-первых, условия удовлетворения прожиточного минимума и, во-вторых, механизма сохранения природных ресурсов.

Из всех возможных дополнительных параметров, которые были рассмотрены для усовершенствования модели Брендера-Тейлора, эти два минимально усложняют расчеты.



**Рис. 1. Динамика социально-экономических характеристик цивилизации острова Пасхи в V–XIX вв. по модели Брендера-Тейлора**

*(т.е. без учета удовлетворения прожиточного минимума)*

На графике показаны население (сплошная линия), ресурсы (пунктирная линия) и уровень производства статуй (точечная линия) согласно модели Пеззи-Андериса, т.е. при условии удовлетворения прожиточного минимума. По вертикальной оси отложены показатели численности населения острова Пасхи.

Прежде всего, Пеззи и Андерис включили в функцию полезности островитян условие удовлетворения прожиточного минимума. Ранее функция полезности Кобба-Дугласа, использованная в модели Брендера-Тейлора, предполагала, что индивиды распределяют время на потребление и производство статуй всегда в фиксированных пропорциях, даже если это приводит к голоду и сокращению населения при ограниченных ресурсах. В работе Пеззи и Андериса используется функция, учитывающая поддержание некоторого минимального уровня жизни. В такой модели экономика становится менее стабильной и более склонной к спадам, а значит, такая модель лучше объясняет прекращение возве-

дения статуй на острове Пасхи примерно в 1500 г. Ведь в модели Брендера-Тейлора (рис. 1) получалось, что из-за экологического кризиса строительство статуй после 1200 г. сокращается (падает примерно вдвое), но все же никогда не прекращается.

Следующее нововведение, используемое Пеззи и Андерисом для улучшения модели Брендера-Тейлора, — это институт сохранения природных ресурсов, который общество с ограниченными природными ресурсами может использовать во избежание краха экономики. Для простоты анализа этот институт смоделирован следующим образом: с островитян взимается налог на потребление натуральных продуктов (т.е. ресурсов) по ставке  $t$ , а выручка от налогов распределяется между членами общества в виде паушальной (безвозмездной) субсидии  $T$ .

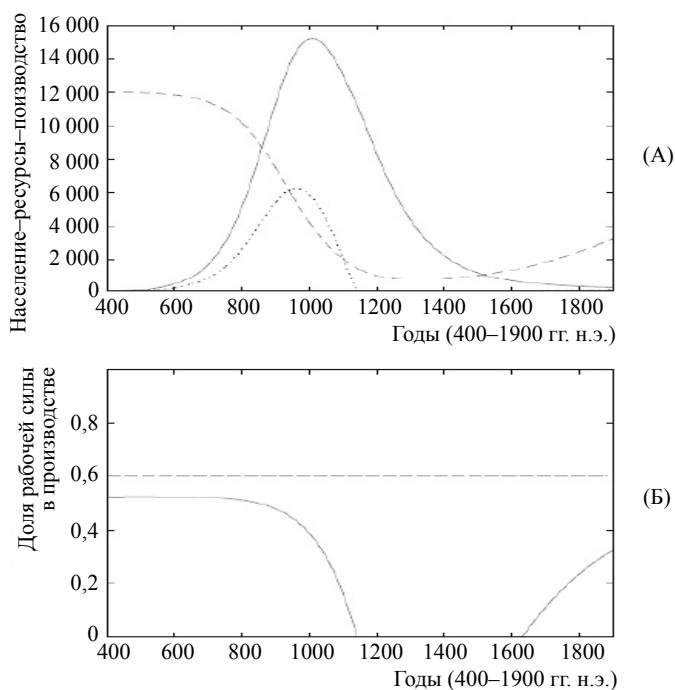
Чтобы лучше понять выводы, сделанные Пеззи и Андерисом, обратимся к анализу каждого нового введенного ими фактора по отдельности.

### **Моделирование динамики населения и производства с учетом удовлетворения прожиточного минимума**

Необходимость учета необходимости удовлетворения прожиточного минимума понятна даже интуитивно. Брендер и Тейлор строили свою модель, не учитывая это условие. Это значит, что в их модели неважно, насколько мал запас ресурсов и каковы масштабы депопуляции населения, поскольку, несмотря на голод, люди продолжают тратить фиксированную часть времени на производство (строительство гигантских статуй). На самом деле, конечно, если запас ресурсов на человека становится ограниченным, то темп прироста населения замедляется, что оказывает меньшее давление на истребление ресурсов. Когда дети умирают от голода, их родители вряд ли будут заниматься возведением статуй.

Учет в модели условия удовлетворения прожиточного минимума предполагает более вероятную реакцию островитян на то, что запас ресурсов сокращается. Если запас ресурсов падает ниже определенного уровня и, значит, максимальный объем ресурсов на душу населения падает ниже минимума для поддержания уровня жизни, то производство статуй останавливается. Когда перенаселение достигает своего пика, то вся рабочая сила

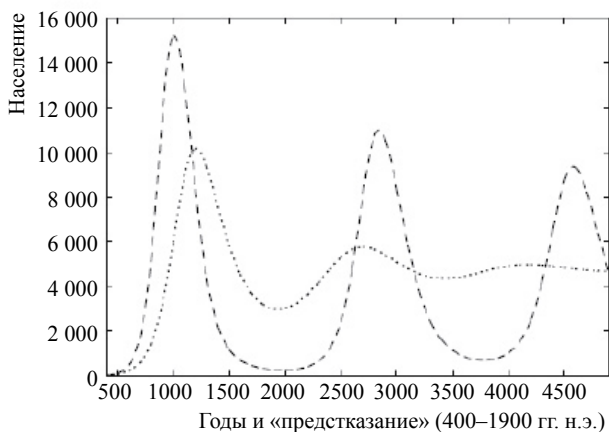
переходит из сектора производства статуй в обрабатывающий сектор. В этом случае будет поддерживаться нулевой уровень прироста населения, а условие удовлетворения прожиточного минимума будет выполняться. Возобновление производства статуй возможно лишь тогда, когда ресурсы начнут восстанавливаться. Но для этого требуется превзойти определенный уровень прожиточного минимума — австралийские ученые рассчитали, что производство статуй на острове Пасхи после кризиса около 1200 г. снова возобновилось бы только около 1650 г. Данная ситуация продемонстрирована на рис. 2.



**Рис. 2. Динамика социально-экономических характеристик цивилизации острова Пасхи в V–XIX вв. по модели Пеззи-Андерсиса с учетом удовлетворения прожиточного минимума**

На верхнем рисунке (А) показаны население (сплошная линия), ресурсы (пунктирная линия), уровень производства (точечная линия) согласно модели Пеззи-Андерсиса, т.е. при условии удовлетворения прожиточного минимума. На нижнем рисунке (Б) отображено распределение рабочей силы на производство статуй (в виде доли от общей рабочей силы) для модели Брендера-Тейлора (горизонтальная пунктирная линия) и для модели Пеззи-Андерсиса (сплошная линия).

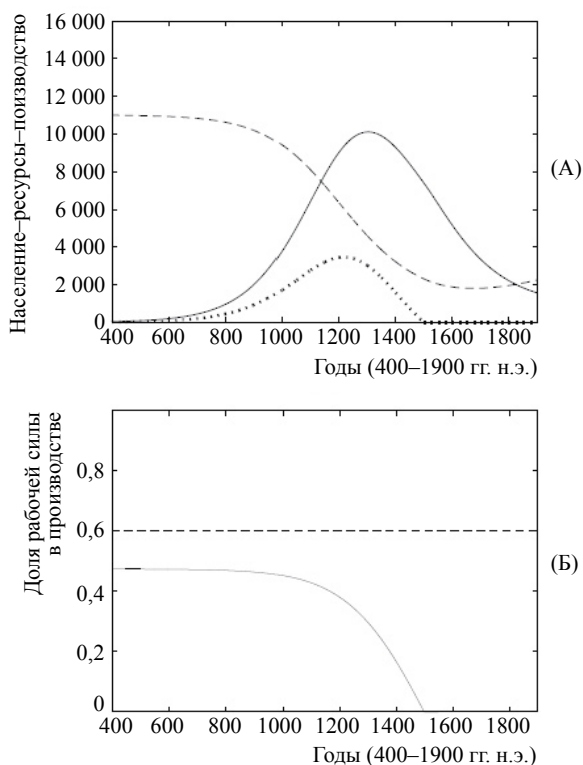
Необходимость обеспечения прожиточного минимума оказывает влияние на разницу между моделями Брендера-Тейлора и Пеззи-Андериса не только в краткосрочном периоде, но и в долгосрочной перспективе. Рис. 3 дает графическое сравнение двух моделей на более длинном временном периоде. На этом графике перед нами, по сути, «предсказание» (контрфактическая модель) дальнейшего развития экономики острова Пасхи до 4900 г., если бы не было внешних влияний (т.е. если бы не было открытия острова европейцами). Легко заметить, насколько сильнее амплитуда колебания численности населения при условии удовлетворения прожиточного минимума, чем без учета этого условия.



**Рис. 3. Долгосрочная динамика численности населения острова Пасхи в период до 4900 г. по моделям Брендера-Тейлора (точечная линия) и Пеззи-Андериса (пунктирная линия)**

В модели на рис. 2 Пеззи и Андерис использовали те же самые экологические характеристики экономики острова Пасхи, которые фигурировали в модели Брендера и Тейлора. Уже в таком виде их модель гораздо лучше отражает экономическую ситуацию на острове Пасхи.

Однако эта модель все же заметно отличается от реальной истории: на самом деле кризис начался не около 1200 г., а около 1500 г. Не было в реальной истории и возобновления строительства статуй около 1650 г.



**Рис. 4. Динамика социально-экономических характеристик цивилизации острова Пасхи в V–XIX вв. по доработанной модели Пеззи-Андериса**

Рис. 4 (А) показывает численность населения (сплошная линия), запас ресурсов (пунктирная линия), производственный выпуск (точечная линия) для модели с условием удовлетворения прожиточного минимума с фактическими данными. На рис. 4 (Б) отображено распределение рабочей силы на производство статуй на всем промежутке истории острова Пасхи (в виде доли от общей рабочей силы) для модели Брендера-Тейлора (горизонтальная пунктирная линия) и аналогичный показатель для доработанной модели Пеззи-Андериса (сплошная линия).

Поэтому австралийские клиометрики предлагают ввести в модель Брендера-Тейлора некоторые уточнения (в частности, ежегодный темп прироста ресурсов не 4%, а 3,5%; максимальная вместимость экологической ниши — не 12 тыс., а 11 тыс. чел., и др.). Усовершенствованная клиометрическая модель экономики острова Пасхи по Пеззи и Андерису показана на рис. 4. Теперь

получается, что примерно в 1500 г. строительство статуй полностью прекращается и уже не возобновляется. Такая модель вполне соответствует реальной истории острова Пасхи.

### **Моделирование динамики населения и производства с учетом институтов регулирования**

Проанализировав условия экологического кризиса, Пеззи и Андерис затем рассматривают, как институты, направленные на экономию природных ресурсов, могли бы предотвратить экологическую катастрофу и гибель цивилизации острова Пасхи.

В работах Брендера и Тейлора ранее обсуждалось: могли бы некие институты контроля рождаемости и использования природных ресурсов, которые не были включены в их модель, спасти цивилизацию острова Пасхи. Брендер и Тейлор полагали, что для такого относительно примитивного общества, как на острове Пасхи, довольно сложно развивать эффективные институты регулирования, поскольку общество прошло всего через один цикл — один подъем, один пик и один спад. К тому же максимальный темп деградации был довольно низким, чтобы островитяне могли заметить кризисную ситуацию и отреагировать на нее. Пальмовым деревьям, которые когда-то росли на острове, надо 40–60 лет, чтобы начать плодоносить, поэтому попытки заняться искусственным выращиванием в принципе не могут дать какого-либо результата в течение жизни одного поколения.

Однако существуют и другие мнения на этот счет.

Например, Клайв Понтинг, автор «Зеленой истории мира», предположил<sup>2</sup>, что жители острова Пасхи должны были понимать масштаб наносимого ими вреда окружающей среде, но, возможно, вражда и борьба за лидерство между кланами оказались важнее коллективной ответственности за окружающую среду. В художественном фильме «Рапа-Нуи», снятом К. Рейнолдсом в 1994 г., отражена именно такая интерпретация «тайны острова Пасхи».

Главный вопрос звучит так: как изменение уровня прожиточного минимума (т.е. вариация параметра, который воздействует на поведение индивидов) влияет на эффективность институтов, которые могут предотвратить деградацию цивилизации? Пеззи и Андерис предполагают, что роль сдерживающего института мог бы сыграть специальный налог на потребление ресурсов. (Авс-



тралийские клиометрики не объясняют, как можно было организовать такое налогообложение в относительно примитивном обществе острова Пасхи, где не было ни государства, ни налогов в собственном смысле слова. Можно предположить, что функцию своеобразного «налогообложения» могли бы сыграть институты «престижной экономики», когда более зажиточные члены племени обязаны организовывать для более бедных соплеменников патлач и другие виды церемониальной раздачи благ.) Задача, по их мнению, заключается в том, чтобы найти такую траекторию изменения ставки налога с течением времени, которая могла бы улучшить эволюцию общества.

Но что в данном контексте значит «лучше»? Т. Купманс<sup>3</sup> акцентировал внимание на том, что если численность населения задается эндогенно, как в цивилизации острова Пасхи, то, моделируя оптимальный путь развития, мы поднимаем сложный философский вопрос. Что значит «польза» для общества — максимизация полезности для общества в целом или для каждого конкретного индивида? Будет ли это устойчивым равновесием для одной из максимизируемых переменных (скажем, уровня потребления продуктов питания) или же это его дисконтированная текущая стоимость, как считают такие антропологи как М. Алвард<sup>4</sup> и большинство ученых, изучающих экономический рост? Если последнее верно, то какая ставка дисконтирования должна быть использована?

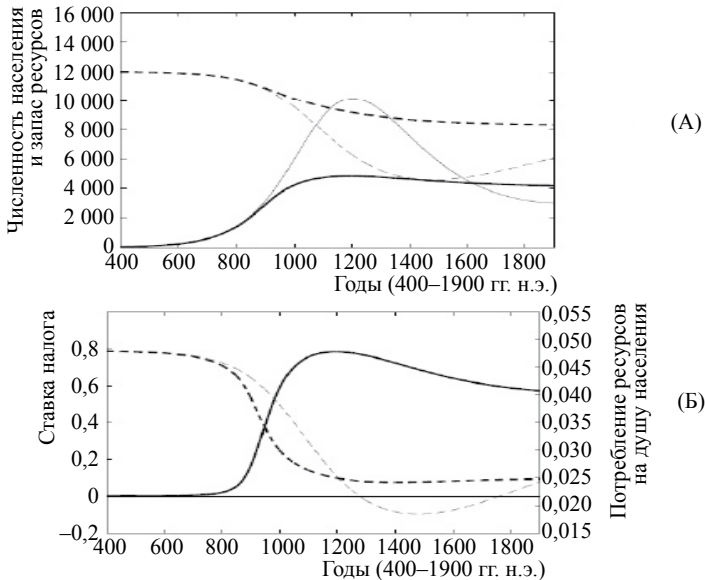
Для упрощения задачи Пеззи и Андерис в своем анализе возможной институциональной адаптации ограничились допущением, что искомый институт экономии ресурсов состоит из трех компонентов:

- пороговый уровень, после которого общество задумывается о мерах регулирования;
- скорость реакции («время на подготовку»), т.е. время, через которое общество начинает действовать после того, как оно приняло некоторое решение;
- представления о том, каким индивиды хотят видеть свое общество в долгосрочном периоде.

Предполагается, что мотивы к действию индивидов объясняются давлением со стороны общества, а величина налога, продиктованная спадом запаса ресурсов, как раз и отражает давление общества на индивида. Важно то, как общество реагирует на со-

стояние системы. Когда реакция на критическую ситуацию быстра, то давление общества должно также быть высоким, чтобы началось быстрое возрастание налога. Когда же реакция низка, то ставка налога становится заметной при небольшом давлении общества, но она медленнее возрастает с течением времени.

Итак, с изменением компонентов налога может быть построено множество моделей в зависимости от того, когда и как общество начинает реагировать.



**Рис. 5. Влияние ставки налога на ресурсы и на население в модели Брендера-Тейлора**

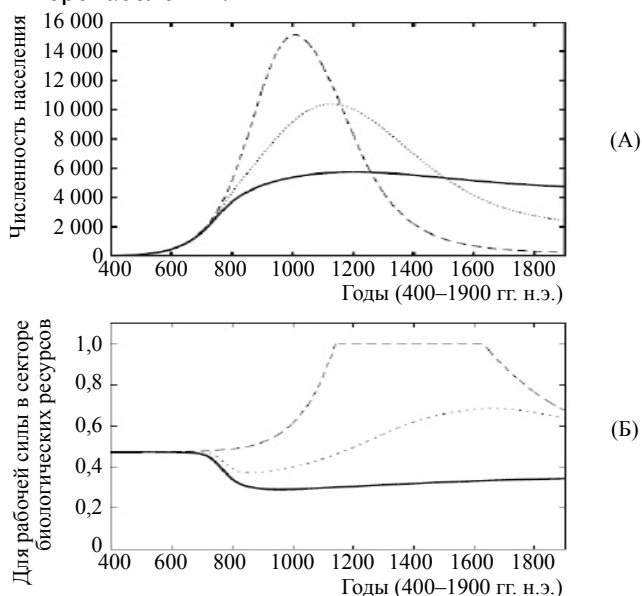
**(без учета условия удовлетворения прожиточного минимума)**

На рис. 5 (А) показаны изменения в количестве ресурсов (пунктирная линия) и населения (сплошная линия) без налога (более светлые линии) и с налогом (более темные линии) с использованием изначальных параметров модели Брендера-Тейлора. На рис. 5 (Б) отображены уровень налоговой ставки (сплошная линия) и потребление ресурсов (пунктир) без налога (светлые линии) и с ним (темные линии).

Цель, исходя из которой жители острова Пасхи должны регулировать развитие своего общества, австралийские клиометрики четко не конкретизировали. Несомненно, что одной из возможных целей является избежание падения численности населения.

На практике клиометриками была выбрана такая величина налога, чтобы тот мог как можно лучше сдерживать перенаселение. На рис. 5 хорошо видно улучшение развитие цивилизации острова Пасхи при применении сдерживающего налога в сравнении с первоначальной моделью Брендера-Тейлора: примерно в 1000 г. численность населения на острове стабилизируется на уровне в 4–5 тыс. чел., резкой депопуляции не происходит, стабилизируется и потребление ресурсов.

Когда модель усложняется введением условия удовлетворения прожиточного минимума, то максимальная ставка сдерживающего налога растет нелинейно с ростом прожиточного минимума. Значит, чем выше уровень прожиточного минимума, тем более жесткими должны быть действия института, чтобы избежать перенаселения.



**Рис. 6. Влияние введения налога на население в модели Пеззи-Андериса**

**(с учетом условия удовлетворения прожиточного минимума)**

На рис. 6 (А) показаны траектории изменения уровня населения без налога (пунктир), с налогом (точечная линия), а также при ставке налога, удовлетворяющей критерию прожиточного минимума (сплошная линия). На рис. 6 (Б) аналогичным образом отображены изменения в доле рабочей силы в секторе обработки ресурсов.

На рис. 6 (Б) точечная линия показывает ситуацию, когда налог не введен; тогда ограниченность ресурсов вынуждает значительную часть рабочей силы перейти в сектор добычи биологических ресурсов. Пунктирная линия отображает ситуацию при введении налога в модель Брендера-Тейлора, где условие удовлетворения прожиточного минимума не учитывается. В этой ситуации налог способствует эффективному перемещению всей рабочей силы в сектор производства биологических ресурсов. Однако это — лишь временный эффект, так как из-за последующего снижения запасов ресурсов рабочая сила начнет перемещаться обратно в обрабатывающий сектор (т.е. в сектор производства статуй). Наконец, жирная линия показывает ситуацию при более высокой ставке налога, когда эффект налога оказывается достаточно сильным, чтобы надолго сократить занятость рабочей силы в добыче продуктов. Задача состоит именно в том, чтобы налог в достаточной мере сократил рабочую силу и с ростом численности населения не происходило бы обратного оттока.

### **Возможности усовершенствования модели Пеззи-Андериса и ее применения к другим цивилизациям**

Итак, добавление условия прожиточного минимума в функцию полезности репрезентативного индивида дает лучшие возможности для объяснения того, что известно о падении цивилизации на острове Пасхи. Условие удовлетворения прожиточного минимума дестабилизирует развитие, потому что оно выливается в менее эффективную реакцию при сокращении ресурсов: люди стараются поддерживать потребление ресурсов на прежнем уровне вместо того, чтобы позволить сокращаться численности населения, что приводит к несоответствию объемов ресурсов с численностью населения, т.е. к перенаселению, и коллапс системы становится неизбежным. Гипотетически, коллективное побуждение к экономии ресурсов может быть представлено как инструмент снижения дестабилизирующего механизма давления, что в целом могло бы предотвратить перенаселение и привести к устойчивому состоянию, если таковое существует. Величина налога, требуемого данной политикой, положительно зависит от величины уровня прожиточного минимума, а значит, более высокий уровень прожиточного минимума

ведет к снижению вероятности того, что коллективные действия могут предотвратить развал экономики.

Несмотря на то, что усовершенствованная Пеззи и Андерисом модель описывает ситуацию на острове Пасхе лучше, чем исходная модель Брендера-Тейлора, возможно дальнейшее совершенствование этой модели. Многие доработки уже были предложены исследователям.

Одно предложение таково: уменьшение запаса ресурсов на острове Пасхи, в особенности лесов, могло понести за собой необратимое разрушение почвы, а значит *навсегда* снизить потенциальную емкость экологической системы. Другая идея такова: помимо рабочей силы, «производство» статуй требует неких затрат природных ресурсов — таких как стволы деревьев для перемещения (перекатывания) статуй из каменоломен на стоящие по всему острову платформы<sup>5</sup>. Для того чтобы построить такую модель, нужно сделать общий сбор ресурсов линейно зависимым от производства статуй и от численности населения. Наконец, многие предложения касаются необходимости учета роли культуры и религии: возможно, рост количества статуй (а значит, деятельность по их производству) обеспечивал островитянам прирост благосостояния с точки зрения анализа культурно-религиозных ценностей.

В отечественной научной литературе единственным примером анализа экономики острова Пасхи является статья Д.В. Парамонова, в которой рассматривается возможность нивелирования циклических колебаний путем «адаптивного управления истощением запасов возобновляемых ресурсов»<sup>6</sup>.

Что же касается применимости данной модели к другим погибшим цивилизациями, то здесь есть существенные ограничения. Клиометрическая модель экономики острова Пасхи относительно проста, поскольку остров находится довольно далеко от ближайших земель, поэтому можно отвлечься от внешних влияний и учитывать лишь межклановую вражду. Другие цивилизации развивались на континентах, поэтому вражда между народами имела существенное значение (например, шумеры были поглощены Вавилонской империей), и от нее нельзя абстрагироваться при моделировании развития ранних цивилизаций. В таком контексте рассуждения о введении налога, скорее всего,

будут бессмысленными: если поселения находятся недалеко друг от друга, то общество, не использующее сдерживающий налог, в случае перенаселения может напасть на соседнее общество, использующее эффективную налоговую политику, и просто отобрать у него ресурсы. Анализ эффекта удовлетворения прожиточного минимума в модели Пеззи-Андериса приводит к выводу, что многие цивилизации не сумели понять проблемы ограниченности ресурсов и поэтому существовали только за счет захвата соседних территорий с неиспользованными ресурсами. Такие выводы могут способствовать разработке динамичной модели развития древних обществ.

В то же время сама модель, объясняющая деградацию цивилизации истощением природных ресурсов, вполне может быть использована для анализа таких относительно изолированных древних цивилизаций, как, например, цивилизации майя или Древней Месопотамии.

### ***Примечания***

<sup>1</sup> Эти данные, конечно, не вполне точны. Оценка максимальной численности населения варьируется от 7 тыс. до 20 тыс. чел., а оценки времени расцвета колеблются в пределах века. Однако эта неопределенность никак не влияет на суть анализируемой проблемы.

<sup>2</sup> Ponting C. A Green History of the World: The environment and the collapse of great civilizations. Sinclair-Stevenson, London, 1991. Ch. 1.

<sup>3</sup> Koopmans T.C. Concepts of optimality and their uses // American Economic Review. 1977. Vol. 67 (3).

<sup>4</sup> Alvard M.S. Evolutionary ecology and resource conservation // Evolutionary Anthropology. 1998. Vol. 7 (2).

<sup>5</sup> Ponting C. Op. cit. P. 5.

<sup>6</sup> Парамонов Д.В. Адаптивное управление истощением запасов возобновляемых ресурсов (2006). — Режим доступа: [http://mexnap.info/articles.php?article\\_id=688](http://mexnap.info/articles.php?article_id=688).

***М.О. Кошкина***