

Использование природных ресурсов и инвестиционная активность регионов: скрытые опасности на пути диверсификации⁷

И. П. Глазырина*, С. В. Винниченко*, П. Штауферманн**

* *Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН*

** *Университет Тилбурга, Нидерланды*

1. Введение: проблемы сырьевых регионов без нефти и газа

Рост валового регионального продукта (ВРП) считается безусловным приоритетом региональной экономической политики. Увеличение доли секторов с высокой добавленной стоимостью — наиболее естественный путь к решению этой задачи. Миф о том, что богатые сырьевые ресурсы («вся таблица Менделеева в наших недрах») сами по себе принесут необходимый рост благосостояния, еще весьма широко распространен среди региональных элит. Однако в последние годы приходит постепенное понимание того, что преимущественно сырьевая ориентация экономики ведет, в долгосрочном аспекте, к увеличению отставания от регионов с более технологичной и диверсифицированной экономикой.

В большей степени это опасно для тех регионов, где нет нефти и газа. Сырьевые сектора дают заметные поступления в региональные бюджеты, однако их вклад в валовый региональный продукт (ВРП) сравнительно невелик. Большинство ресурсных регионов Сибири (без нефти и газа) показали в период 2000–2005 гг. рост ниже среднероссийского и значительно ниже, чем такие территории, как Новосибирская и Омская область [1]. Одновременно практически для всех сырьевых отраслей характерно значительное негативное воздействие на окружающую среду в расчете на единицу произведенной добавленной стоимости [2]. Таким образом, сырьевая

⁷ Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 07-02-00056а).

ориентация экономики в нынешних условиях России означает снижение не только темпов, но и качества экономического роста [2, 3]. Не улучшает ситуацию и приграничное положение регионов Южной Сибири. Как показывают результаты работы [1], несмотря на динамичное развитие Китая, граничащие с ним регионы (Амурская и Читинская области, Хабаровский и Приморский края) имели на 13–22 % более медленный рост, чем в среднем по России.

Многие регионы России, в том числе сибирские, обладают большими запасами лесных ресурсов. Большая часть лесного экспорта из России — это необработанная древесина. Целесообразность перехода к увеличению доли лесоперерабатывающих производств в лесном секторе уже нет необходимости доказывать. В вопросе о том, как это делать, во многих регионах приходят к общему мнению: необходима государственная поддержка лесной отрасли. Поскольку такая модернизация, безусловно, требует инвестиций, очень часто высказываются идеи о необходимости государственной поддержки (субсидирования) бизнеса, который решает такую важную государственную задачу. Варианты субсидирования могут быть разные — дешевые кредиты с погашением региональными бюджетами части процентной ставки, налоговые льготы в части региональных полномочий, прямое участие региональных бюджетов в доле бизнеса и др. Дополнительным стимулирующим фактором стало увеличение ставки таможенных пошлин на вывоз «круглого леса». Важной чертой происходящих процессов является то, что на практике происходит субсидирование весьма немногих технологий переработки, почти одних и тех же для большинства регионов. Это — производство пиломатериалов, мебели и деревянных полуфабрикатов для малоэтажного строительства.

В какой-то степени аналогичные процессы происходят и в развитых странах Запада, но в отношении новых информационных технологий. Всюду в Европе можно наблюдать попытки создания «Силикона где-то». Вдохновленные известной историей успеха калифорнийской Санта-Клары многие регионы борются за то, чтобы стать следующим центром скопления высоких технологий. На всех уровнях — европейском, национальном и региональном, политики вырабатывают курс на подъем межрегиональной конкуренции посредством условий для образования «высоко технологических скоплений», применяя для этого бюджетные субсидии.

В данной работе мы сделали попытку оценить полезность этого «стадного» поведения в политике регионального развития. Для этой цели мы предлагаем, наряду с эмпирическими доводами, теоретико-игровую модель. В модели мы предполагаем, что регионы, в стремлении увеличить производство, инвестируют в технологии, уже внедренные в известных центрах (скажем, ИТ в Силиконовой долине, лесопереработка в Китае или в скандинавских странах и т. п.). Помимо прочего, наша модель показывает, что

объективная вероятность успеха регионов, копирующих своих соперников, сильно ограничена, и более того, с общественной точки зрения, это «стадное» поведение ведет к потерям в благосостоянии. Это в определенной степени переключается с выводами работы [4], где убедительно показано, что ориентация главным образом на использование зарубежных технологий ведет к сохранению экономической отсталости.

2. Описание модели

Нас будет интересовать вопрос, каковы могут быть последствия инвестиционной активности региона за счет бюджетных финансовых ресурсов в том случае, если сразу несколько регионов активно начнут стимулировать внедрение примерно одних и те же технологий. В этом случае неизбежно возникает межрегиональная конкуренция. Имеет ли смысл это соревнование регионов «за внедрение»? Идея рассматриваемой модели восходит к работам [5, 6].

Производственную функцию для «конечного продукта» региона i зададим формулой:

$$Y_i = L_i^\alpha \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij}^{1-\alpha}.$$

Здесь L_i — трудовые ресурсы региона, x_{ij} — количество промежуточного продукта произведенного в регионе i фирмой j , m_i — количество таких фирм в i -м регионе.

Нормализуем цену конечного продукта и будем считать ее равной 1. Рассмотрим следующую задачу оптимизации:

$$\max_{x_{ij}} L_i^\alpha \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij}^{1-\alpha} - w_i L_i - \sum_{j=1}^{m_i} p_{ij} x_{ij}. \quad (1)$$

Стандартные вычисления условий первого порядка для задачи (1) дадут нам следующие результаты:

$$w_i = L_i^{\alpha-1} \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij}^{1-\alpha}; \quad (2)$$

$$p_{ij} = L_i^\alpha (1-\alpha) x_{ij}^{-\alpha}, \quad \forall j \in \{1, \dots, m_i\}. \quad (3)$$

Предположим, что производство единицы каждого промежуточного продукта требует r_{ij} единиц конечного продукта и инвестиций I_{ij} . Таким

образом, с учетом (2) и (3) задача максимизации в секторах промежуточного производства будет выглядеть так:

$$\max_{x_{ij}} p_{ij} (x_{ij}) x_{ij} - r_{ij} x_{ij} - I_{ij} = \max_{x_{ij}} (1-\alpha) L_i^\alpha x_{ij}^{1-\alpha} - r_{ij} x_{ij} - I_{ij} .$$

Отсюда получим необходимое условие экстремума:

$$x_{ij} = \bar{x}_{ij} = \left(\frac{r_{ij}}{(1-\alpha)^2 L_i^\alpha} \right)^{-\frac{1}{\alpha}} = r_{ij}^{-\frac{1}{\alpha}} (1-\alpha)^{\frac{2}{\alpha}} L_i, \quad \forall j \in \{1, \dots, m_i\} .$$

Теперь мы можем вычислить цены промежуточных продуктов, используя условия первого порядка:

$$p_{ij} = \bar{p}_{ij} = \frac{r_{ij}}{1-\alpha}, \quad \forall j \in \{1, \dots, m_i\} .$$

Прибыль секторов производства промежуточных продуктов будет выглядеть так:

$$\Pi_{ij} = p_{ij} \bar{x}_{ij} - r_{ij} \bar{x}_{ij} - I_{ij} = \alpha (2-\alpha) (1-\alpha)^{\frac{1}{\alpha}} r_{ij}^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} L_i - I_{ij} . \quad (4)$$

И, наконец, мы можем оценить рентабельность производства промежуточных продуктов R_{ij} :

$$R_{ij} = \frac{\Pi_{ij}}{r_{ij} \bar{x}_{ij} + I_{ij}} = \frac{r_{ij}^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \alpha (1-\alpha)^{\frac{2-\alpha}{\alpha}} L_i - I_{ij}}{r_{ij}^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} (1-\alpha)^{\frac{2}{\alpha}} L_i + I_{ij}} .$$

Следовательно, заработная плата в регионе i будет равна

$$w_i = \alpha (1-\alpha)^{\frac{2-\alpha}{\alpha}} \sum_{j=1}^{m_i} r_{ij}^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} ,$$

а выгоды региона

$$Y_i^R = w_i L_i + \sum_{j=1}^{m_i} \Pi_{ij} = \alpha (2-\alpha) (1-\alpha)^{\frac{2-\alpha}{\alpha}} L_i \sum_{j=1}^{m_i} r_{ij}^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} - \sum_{j=1}^{m_i} I_{ij} .$$

Тем самым мы определили все количественные характеристики нашей статической модели.

3. Внедрение новой технологии и межрегиональная конкуренция

Предположим, что n регионов с различными местными условиями приняли решение о внедрении новой технологии. Пусть, как и выше, L_i — трудовые ресурсы i -го региона; не уменьшая общности, можно предположить, что одна фирма в i -м регионе производит конечный продукт, а другие m_i фирм производят промежуточный продукт. Кроме того, пусть внедрение новой технологии в i -м регионе требует инвестиций в размере I_i , а для производства единицы новой продукции нужно r_i единиц конечного продукта. Из (4) мы получаем следующее выражение для прибыли от производства новой продукции в i -м регионе:

$$\Pi_i = \alpha(2 - \alpha)(1 - \alpha)^{\frac{2-2\alpha}{\alpha}} L_i r_i^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} - I_i.$$

Таким образом, доход региона после внедрения новой технологии увеличивается на эту величину: $D_i = \Pi_i$.

Теперь предположим, что регионы, в стремлении внедрить новую технологию (привлечь соответствующие фирмы, создать благоприятные налоговые и/или инфраструктурные условия) готовы вложить в это собственные средства, которые мы для краткости будем называть субсидиями. Пусть регион i выделяет субсидию в размере s_i . Мы будем рассматривать эту конкуренцию как игру Γ , где регионы являются игроками, выделение субсидий — их стратегиями, а выигрыш — ожидаемый дополнительный доход. Вероятность выигрыша в этой конкуренции для региона i равна

$$q_i = \frac{s_i}{\sum_{i=1}^n s_i},$$

а ожидаемый дополнительный доход равен $P_i = q_i D_i - s_i$. Каждый регион заинтересован в максимизации этой величины. Мы также предположим, что если ни один регион не выделяет субсидий, то

$$P_i = \frac{D_i}{n}$$

(то есть регионы выигрывают с одинаковой вероятностью).

Мы попытаемся найти равновесие по Нэшу для игры Γ . Мы исключаем из рассмотрения регионы, для которых $D_i \leq 0$, так как у них нет стиму-

лов для инвестиций. Без уменьшения общности мы можем считать, что регионы пронумерованы таким образом, что $D_1 \geq D_2 \geq \dots \geq D_n$. Обозначим

$$E_i = \frac{1}{D_i}, Z_k = \sum_{i=1}^k E_i.$$

Теорема. Пусть Γ — игра, моделирующая описанную конкуренцию регионов, k — наибольший индекс, удовлетворяющий условию $Z_k \geq (k-1)E_k$. Тогда существует единственное равновесие по Нэшу $s = \{s_i\}_{1 \leq i \leq n}$, где

$$s_i = \frac{(k-1)(Z_k - (k-1)E_i)}{Z_k^2}, 1 \leq i \leq k,$$

$$s_i = 0, k < i \leq n.$$

Вероятность выигрыша в этой ситуации равна $1 - \frac{(k-1)E_i}{Z_k}$ для $1 \leq i \leq k$,

и равна нулю для $k < i \leq n$. При этом ожидаемый дополнительный доход будет равен:

$$P_i = \frac{D_i(Z_k - (k-1)E_i)^2}{Z_k^2} \geq 0$$

для $1 \leq i \leq k$, и $P_i = 0$ для $k < i \leq n$.

Доказательство теоремы приведено в Приложении.

Прежде всего отметим, что из $Z_2 = E_1 + E_2 \geq (2-1)E_2$ следует, что $k \geq 2$.

Сформулируем некоторые следствия из полученных результатов.

1. Для всех регионов, начиная со второго ($i = 2, \dots, n$) ожидаемый выигрыш — значительно меньше, чем если бы новая технология внедрялась без региональных субсидий. Для этих регионов участие в такой конкуренции вряд ли целесообразно. Это следует из оценки ожидаемого выигрыша P_i в рамках нашей модели. Действительно, с учетом $Z_k \geq (k-1)E_k$, из определения Z_i и возрастания последовательности E_i получаем:

$$\begin{aligned} i(k-1)E_i &\geq (k-1)Z_k = (k-1)\left(Z_k - \sum_{j=i+1}^k E_j\right) \geq \\ &\geq (k-1)(Z_k - (k-i)E_k) \geq (k-1)Z_k - (k-i)Z_k, \\ (k-1)E_i &\geq \frac{i-1}{i}Z_k. \end{aligned}$$

Таким образом,

$$P_i \leq \frac{D_i(Z_k - \frac{i-1}{i}Z_k)^2}{Z_k^2} \leq \frac{D_i}{i^2}.$$

2. При некоторых условиях субсидирование внедрения имеет смысл для региона с номером 1. (напомним, что это регион, в котором ожидаемое увеличение дохода без субсидирования является наибольшим среди других регионов)

Действительно, пусть $\frac{1}{4} < u < 1$. При некотором u , достаточно близком к 1, условие $P_1 \geq uD_1$, может быть вполне приемлемым, при котором государственные субсидии могут считаться целесообразными. Это неравенство, в свою очередь, эквивалентно следующим:

$$\begin{aligned} Z_k - (k-1)E_1 &\geq \sqrt{u}Z_k, \\ (1-\sqrt{u})(Z_k - E_1) &\geq (k-2 + \sqrt{u})E_1, \\ D_1 &\geq \frac{k-2 + \sqrt{u}}{(1-\sqrt{u})(Z_k - E_1)}. \end{aligned}$$

Последнее неравенство, таким образом, можно рассматривать как условие, при котором для первого региона целесообразны государственные инвестиции в новые технологии. Важно отметить, что это условие определяется показателями производства не только первого региона, но и других, где внедряются те же технологии, и в определенной степени оно показывает наличие более «продвинутой» экономической структуры первого региона по сравнению с остальными.

3. Если региональные условия примерно одинаковы (т. е. $D_i \equiv D$), то государственное субсидирование внедрения новых технологий не имеет смысла для всех регионов.

Чтобы это показать, заменим выражения для s_i и $q_i = \frac{1}{n}$ в $P_i = q_i D_i - s_i$ и получим формулу для ожидаемых выигрышей:

$$P_i = \frac{1}{n}D - \frac{(n-1)D}{n^2} = \frac{D}{n^2}.$$

Этот результат показывает, что, при более или менее одинаковых условиях для всех регионов, выигрыши региона будут меньше, чем при внедрении технологий без бюджетных инвестиций.

4. Задачи государственного регулирования в контексте диверсификации экономики

Из приведенного в предыдущих разделах анализа совсем не следует, что государство не должно участвовать в решении задач структурной перестройки региональной экономики и ее диверсификации. Напротив, это задача является одной из наиболее важных для России в ближайшие годы. Эта проблема касается не только роста экономики, но и снижения негативного воздействия на окружающую среду, которое в ресурсных регионах принимает иногда катастрофический характер. Более того, традиционные механизмы регулирования не всегда отвечают задачам устойчивого развития и нуждаются в корректировке [7–15].

Большинство авторов признают «провалы рынка» в области как разработки, так и внедрения новых технологий и необходимость их корректировки с помощью регулирующих мер. В данном контексте следующие аргументы представляются наиболее значимыми: [9, 12, 15].

1. Общественная природа знаний приводит к тому, что инициаторы разработки и внедрения новых технологий, несущие соответствующие затраты, не могут рассчитывать на то, что им достанутся экономические и социальные выгоды от их деятельности *полностью*. Происходит так называемый «перелив» (spillover) технологий. Это относится не только к принципиально новым технологиям, но и к внедрению существующих, уже где-то используемых, так как апробация их в других регионах тоже может быть связана с затратами и риском.
2. Выгоды от новых (в том числе для данного региона) технологий обычно слабо предсказуемы. Это препятствует формированию устойчивого потока инвестиций в эту сферу.
3. «Входные» рыночные барьеры препятствуют конкуренции, которая, в свою очередь, является движущей силой для распространения инноваций.
4. Глобализация часто создает условия, при которых развитию инновационных процессов и внедрению более передовых технологий препятствуют коммерчески более привлекательные альтернативы: дешевые трудовые ресурсы в странах «третьего мира», растущий спрос мирового рынка на сырьевые ресурсы, слабость (или отсутствие) экологического законодательства в развивающихся странах. Последние два обстоятельства особенно негативно влияют на экологические инновации.
5. Внедрение новых технологий и соответствующие ему изменения обычно требуют корректировки сразу многих компонентов существующих систем, иногда даже изменения законодательства. Этот эффект относится к так называемым «провалам перехода»:

6. Негативную роль могут играть «провалы замкнутости». Речь идет о том, что социо-экономическая система нередко «замыкается» и не выпускает новые технологические парадигмы. И дело не только в том, что «переключение» на новые парадигмы и модели требует затрат. Часто знания и стиль мышления ключевых «игроков» заставляют их принимать решения в рамках существующих парадигм. Практические привычки, стиль жизни — это также источник «замкнутости» системы.
7. Институциональные провалы: институты, созданные для решения старых проблем часто создают барьеры для решения новых.

Проблема состоит в том, что выбор инструментов регулирования, которые способствовали бы диверсификации хозяйственной системы и ее структурному улучшению — довольно сложная задача, требующая учета множества факторов, часто специфических для данного региона. Признание необходимости государственного стимулирования процессов диверсификации не означает, что годятся любые формы такого стимулирования. Однако соблазн найти простое решение, и поступать «как все» очень велик — причем и в случае инвестирования в ИТ в Европе, и субсидирования «желательных» видов деятельности (в т. ч. лесопереработки) в России.

Эмпирические наблюдения последний лет в Европе позволяют описать психологию принятия решений в стиле «стадного поведения» [6]. Политики заинтересованы в переизбрании и укреплении своей репутации. При наличии безработицы политики заинтересованы привлечь высокотехнологичные фирмы, которые, как ожидается, наймут людей и усилят экономическую активность региона с помощью позитивного внешнего фактора. Для этого многие регионы Европы и США предлагают субсидии таким фирмам. Однако неясно, будет ли высокотехнологичная фирма иметь успех. Во всяком случае, можно привлечь различные технологии: био, ИТ, нано и т. д. Но ни один политик заранее не знает, какая технология наиболее привлекательна для его региона. Поэтому он должен решать в условиях неопределенности.

Политики обычно принимают в расчет следующее: типичный избиратель готов принять ошибочное решение политика, если все остальные политики приняли то же решение. В таком случае избиратель воспринимает ошибку как неизбежное зло. Но избиратель не простит ошибочного решения, если никто больше не принял такого решения, и политики рискуют не быть переизбранными. С другой стороны, у региональных политиков нет полной информации о происходящем в других регионах, особенно если принять в расчет, что регионы часто сообщают только об успехах привлечения фирм и замалчивают неудачи. Возникает искаженная картина реальности, у широкой публики складывается впечатление, что остальные регионы более или менее успешны, даже если это не так.

В последние годы существенно изменился характер и международной, и межрегиональной конкуренции. В производстве и, соответственно, в распределении доходов, возрастает роль нематериальных активов. Все более значимыми факторами становятся специфичность и уникальность, все меньшую роль играют традиционные преимущества, такие как дешевые природные и трудовые ресурсы. Вопрос из знаменитой книги «Караоке-капитализм» Й. Риддерстралле и К. Нордстрема ([16], с. 309): «Вы хотите стать оригинальной версией самого себя или второсортной копией кого-то еще?» — стоит задавать не только людям, но и целым регионам и странам.

Считается, что государственная поддержка даже частных инновационных инициатив отвечает общественным интересам, так как другие компании и общество в целом также получают выгоды вследствие «положительных внешних эффектов» от инноваций [12]. Представляется, что это утверждение верно в большей степени для инноваций на этапе исследований, разработок и первичного внедрения, и в меньшей — когда речь идет о распространении новых технологий. Точнее, в последнем случае успех сильно зависит от выбора инструментов реализации этой идеи. В этом смысле интересен безусловно положительный опыт Ирландии, где генеральной линией государственной политики стала не поддержка внедрения конкретных технологий, а создание исключительно благоприятных условий для высокотехнологичного бизнеса в целом.

Анализ в рамках нашей модели также показывает, что в «караоке-мире» [16] фондовые инструменты (скажем, структурные фонды) не меняют результат. Альтернативой региональным «стадным» стратегиям, могут быть стратегии регионального развития, извлекающие выгоду из сравнительных преимуществ регионов, прежде всего тех, которые в данных условиях дают наибольшую добавленную стоимость [9]. Из этого, разумеется, не следует, что лесные регионы Сибири ни при каких обстоятельствах не должны стимулировать внедрение технологий переработки леса. Результаты работы говорят о том, стремление к внедрению стандартных, хотя и новых технологий не должно быть фокусом региональной стратегии развития.

Необходима диверсификация региональных экономик с учетом тех условий, которые не являются «общими для всех», а выделяют данный регион из других, и более выигрышной будет стратегия, в большей степени основанная на региональной «уникальности», чем на стремлении «быть, как все» или «не хуже других» (в частности, это демонстрирует следствие 2 предыдущего раздела). Российские регионы находятся сейчас на таком этапе развития, когда невозможно со стопроцентной гарантией успеха воспользоваться чьим-то готовым опытом — западным или восточным. К сожалению, анализируя региональные программы можно еще раз убедиться в том, что «всякая трудная задача имеет простые, легко доступные для понимания неправильные решения», и соблазн принимать такие ре-

шения весьма велик, особенно в тех случаях, когда речь идет об «освоении» бюджетных ресурсов. Наш анализ может служить дополнительным аргументом в пользу выводов работ [10, 11] о том, что качество принятия решений, и, следовательно, качество государственных институтов, играет ключевую роль в решении задач эффективного использования природных ресурсов, преодоления сырьевой ориентации региональной экономики и так называемого «ресурсного проклятия».

5. Приложение: доказательство теоремы

Пусть $s = \{s_i\}_{1 \leq i \leq n}$ — некоторая ситуация в игре Γ . Если ни один из регионов не выделяет субсидий, то s не является равновесием (так как регион i может в одностороннем порядке увеличить свой доход, производя инвестиции в размере не большем, чем $\frac{D_i(n-1)}{n}$). Поэтому условие равновесия можно описать следующим образом.

Для всех i из неравенства $\frac{\partial P_i}{\partial s_i} \neq 0$ следует $\frac{\partial P_i}{\partial s_i} < 0$ и $s_i = 0$.

Из формулы

$$\frac{\partial P_i}{\partial s_i} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n s_i} - \frac{s_i}{\left(\sum_{i=1}^n s_i\right)^2} \right) D_i - 1.$$

Из предположения об убывании D_i следует, что если $\frac{\partial P_i}{\partial s_i} < 0$ и $i < j$,

то $\frac{\partial P_j}{\partial s_j} < 0$.

Поэтому существует такое k , $1 \leq k \leq n$, что

$$\frac{\partial P_i}{\partial s_i} = 0 \text{ для } 1 \leq i \leq k, \text{ и } \frac{\partial P_i}{\partial s_i} < 0, s_i = 0 \text{ для } k < i \leq n.$$

Складывая равенства

$$\frac{1}{\sum_{i=1}^k s_i} - \frac{s_i}{\left(\sum_{i=1}^k s_i\right)^2} = \frac{1}{D_i} = E_i, 1 \leq i \leq k,$$

получим:

$$\frac{k}{\sum_{i=1}^k s_i} - \frac{\sum_{i=1}^k s_i}{\left(\sum_{i=1}^k s_i\right)^2} = \sum_{i=1}^k E_i = Z_k$$

и

$$\sum_{i=1}^k s_i = \frac{k-1}{Z_k}, \quad s_i = \frac{(k-1)(Z_k - (k-1)E_i)}{Z_k^2}, 1 \leq i \leq k. \quad (5)$$

Из $s_k \geq 0$ следует, что $Z_k \geq (k-1)E_k$. Для $i > k$ получаем $\frac{\partial P_i}{\partial s_i} = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^k s_i} - 1 < 0$.

Из этого неравенства с учетом (5) получаем $Z_k < (k-1)E_i$. Следовательно,

$$Z_i = Z_k + \sum_{j=k+1}^i E_j < (k-1)E_i + (i-k)E_i = (i-1)E_i.$$

Таким образом, индекс k удовлетворяет условиям теоремы. Из (П2) следует, что вероятность выигрыша будет равна

$$q_i = \frac{s_i}{\sum_{i=1}^n s_i} = \frac{s_i}{\sum_{i=1}^k s_i} = \frac{(k-1)(Z_k - (k-1)E_i)Z_k}{Z_k^2(k-1)} = 1 - \frac{(k-1)E_i}{Z_k},$$

а сам выигрыш можно вычислить следующим образом:

$$\begin{aligned} P_i &= \left(1 - \frac{(k-1)E_i}{Z_k}\right) D_i - \frac{(k-1)(Z_k - (k-1)E_i)}{Z_k^2} = \\ &= \frac{Z_k^2 D_i - (k-1)E_i D_i Z_k - (k-1)Z_k + (k-1)^2 E_i}{Z_k^2} = \\ &= \frac{Z_k^2 D_i - (k-1)E_i D_i Z_k - (k-1)E_i D_i Z_k + (k-1)^2 E_i^2 D_i}{Z_k^2} = \\ &= \frac{D_i(Z_k^2 - 2(k-1)E_i Z_k + (k-1)^2 E_i^2)}{Z_k^2} = \frac{D_i(Z_k - (k-1)E_i)^2}{Z_k^2}. \end{aligned}$$

(Здесь мы использовали равенство $E_i D_i = \frac{1}{D_i} D_i = 1$.)

Последнее выражение, очевидно, неотрицательно. Теорема доказана.

Литература

1. *Забелина И. А.* Природные ресурсы и динамика экономического роста регионов Сибири и Дальнего Востока // Природоохранное сотрудничество Читинской области (Российская Федерация) и Автономного района Внутренняя Монголия (КНР) в трансграничных экологических регионах: материалы международной конференции. Чита: Изд-во Забайкал. гос. гум.-пед. ун-та, 2007. С. 119–122.
2. Экологические индикаторы качества роста региональной экономики / Под ред. И. П. Глазыриной, И. М. Потравного. М.: НИА-Природа, 2005. 306 с.
3. *Рюмина Е. В.* Природная рента: связь с экологическими издержками // Экономика природопользования. № 4. 2002. С. 72–82.
4. *Дементьев В. Е.* Ловушка технологических заимствований и ее преодоление в двухсекторной модели экономики // Экономика и математические методы, 2006. Т. 42. № 4. С. 17–32.
5. *P. Romer.* «Endogenous Technological Change» // Journal of Political Economy. 1990. Vol. 98. № 5. P. 71–102.
6. *Stauvermann P.* Endogenous Growth in OLG-Models. Wiesbaden, 2006.
7. *Глазырин В. В., Глазырина И. П.* Экологический долг и информационная поддержка процедур принятия решений // Экономика и математические методы. 2000. Т. 36. № 1. С. 47–54.
8. *Глазырина И. П.* Природный капитал в экономике переходного периода. М.: НИА-Природа, РЭФИА, 2001. 204 с.
9. *Глазырина И. П.* Экологические инновации и государственное регулирование: обзор зарубежных подходов и некоторые выводы для России // Экономика природопользования. 2008. № 1. С. 67–81.
10. *Полтерович В., Попов В., Тонис А.* Экономическая политика, качество институтов и механизмы «ресурсного проклятия». Доклад на VIII Междунар. научн. конф. «Модернизация экономики и общественное развитие», Москва, 3–5 апреля 2007 г. М.: Изд. Дом ГУ ВШЭ, 2007. 98 с.
11. *Auty R. M.* Natural resources, capital accumulation and the resource curse // Ecological Economics. № 61. 2007. P. 627–634.
12. Blueprints for an integration of science, technology and environmental policy (BLURPRINT). Mannheim, ZEW, 2004.
13. *Glazyrina I. P.* Looking for a path to Sustainability in Eastern Siberia // Ecosystem Health. 1998. № 4. P. 248–255.
14. *Glazyrina I. P., Glazyrin V. V., Vinnichenko S. V.* The polluter pays principle and potential conflicts in society // Ecological Economics. 2006. V. 59. № 3. P. 324–330.
15. *Jaffe A. B., Newell R. G., Stavins R. N.* A tale of two market failures: technology and environmental policy // Ecological economics. 2005. 54. P. 164–174.
16. *Риддерсталле Й., Нордстрем К. А.* Караоке-капитализм. Менеджмент для человечества. Стокгольмская школа экономики в Санкт-Петербурге. 2004 г. 328 с.