

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ: МОДЕЛЬ ДВОЙСТВЕННОСТИ МАТЕРИАЛЬНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ

Е. Ю. Дорохина

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова

К. Ю. Огольцов

Международный независимый эколого-политологический университет (Академия МНЭПУ)

Поступила в редакцию 24 апреля 2013 г.

Аннотация: рассматривается идеальный сценарий развития промышленного производства, при котором материальные и энергетические потоки (промышленный метаболизм) согласуются с природным метаболизмом. Представлена модель, описывающая взаимодействие сырьевых и энергетических потоков в рамках промышленной экологии.

Ключевые слова: устойчивое развитие, промышленная экология, моделирование материальных и энергетических потоков.

Abstract: the ideal scenario of development of industrial production at which material and power flows (an industrial metabolism) will be coordinated with a natural metabolism is considered. The model describing interaction of raw and power flows within the limits of industrial ecology is presented.

Key words: sustainable development, industrial ecology, modeling of material and power flows.

Энергия является общим ресурсом, обеспечивающим функционирование всех экосистем [1]. Это относится также ко всем антропогенным структурам, вследствие чего проблемы обеспечения энергией являются важной составной частью исследований, связанных с устойчивым развитием [3]. С одной стороны, существенная часть энергоснабжения связана с затратами сырья и необходимостью учета потребителей и поглотителей энергии, с другой стороны, в экономике каждый материальный поток – это одновременно энергетический поток.

С точки зрения термодинамики, существует непосредственная связь между концентрацией ресурсов до и после экстракции, энергией экстракции и энтропией. С экстрагируемым сырьем передается накопленная энергия. Ее необходимо использовать как можно эффективнее. Вместе с тем энергия – это основной двигатель экономических процессов, так как диссипированная материя в принципе может вернуться, если имеется достаточное количество энергии. Диссипированную же энергию невозможно вернуть независимо от наличия материи. Развитие природных систем на Земле с начала их существования обеспечивается солнечной энергией. Человеко-экологическая система,

напротив, смогла начать свое стремительное развитие только с применением ископаемых энергоносителей. На базе искусственно созданного относительно избыточного предложения энергии расширилась среда обитания человека и сформировались основы технологического прогресса. Вместе с тем были превышены естественные границы системно-приемлемого метаболизма, в которых раньше (из-за отсутствия технологий) находилось «низкоэнергетическое общество».

Таким образом, проблема устойчивого формирования энергетических и материальных циркуляций требует подробного рассмотрения с учетом энергетического и материального метаболизма. Только при решении энергетической проблемы индустриального общества может быть также решена проблема устойчивого снабжения ресурсами. При этом нужно учитывать, что высокая энергетическая плотность ископаемых энергоносителей, соответствующая началу индустриализации, будет существовать только ограниченное время, и, таким образом, устойчивое развитие промышленных структур возможно только на основе энергоснабжения за счет возобновляемых энергоносителей. Другими словами, нынешняя экономическая культура, направленная на ископаемые энергоносители, не больше, чем промежуточная (эволюционная)

культура на ограниченный срок. Вместе с тем энергетический вопрос будет ключевым вопросом устойчивости, так как поддержание экономического уровня зависит от непрерывного энергоснабжения. Функциональность экологической системы сильно зависит от видов и объемов используемой электроэнергии, и долгосрочное глобальное развитие гарантируется только достаточным энергоснабжением всех регионов мира [2]. Промышленная экология выходит за рамки управления циркулирующей материей и требует совершенно новых подходов, которые интегрируют управление сырьевыми и материальными потоками.

Жизнь возникла из новой организации материи благодаря использованию энергии. Осуществляющиеся при этом эволюционные процессы называются воспроизводством существующей жизни, которое поддерживается также новой организацией материи посредством использования энергии. Энергия и материя неразделимы. Поддержание жизни определяется организацией материи, приводимой в действие с помощью энергии, и связано с одновременным предоставлением обоих жизненно важных факторов. Так же и в промышленной экологии материальный и энергетический метаболизмы являются общими аспектами экономических процессов. Энергия переходит при этом в состояние более высокой энтропии. Можно выделить, в частности, глобальный оборот углерода как один из химических двигателей жизни, который представляет собой как запас энергии, так и основную структурную единицу множества живых существ. Промышленные экосистемы делают аналогичными природным экосистемам три основных фактора:

- возобновляемая энергия;
- полное управление циркуляцией материалов;
- разнообразие, обеспечивающее поддержание жизнеспособности.

В материально-энергетических связях в большинстве случаев обнаруживается конфликт целей, особенно когда материал может быть использован и как сырье для производства, и как энергоноситель. Таким образом, дискуссия о том, что формирование парадигмы основывается исключительно на антропоцентрическом, эоцентрическом или физиоцентрическом принципах, становится неуместной. Если рассматривать вивцентрическую парадигму, то нельзя обойти вниманием материально-энергетические аспекты. Экология указывает, что материальные и энергетические потоки в экосистемах действительно взаимодействуют и

переплетаются друг с другом в пищевых цепях [4]. При переходе к промышленной экологии необходимо учесть эту закономерность. При этом она может переноситься в разных формах (формах определений, аналогий или гомологий). Все процессы двойственного метаболизма энергии и материи в промышленной системе упрощенно представлены на рисунке. Структуры и образцы позамимствованы из научной экологии [6].

Связи экономических процессов высоко агрегированы. Для модельного представления, которое специально разделяет невозобновляемое сырье и получение энергии из возобновляемых источников, учитываются следующие предпосылки.

- Как и в экосистемных образцах, энергия диссипативно протекает по системе, а материя циркулирует между точками использования.

- В качестве агентов рассматриваются выработка электроэнергии, добыча сырья, производство, потребление, замкнутый цикл и утилизация. Все агенты – подсистемы совокупной экологической системы (геи); агенты определяются их функциями аналогично экосистемным «функциональным» группам организмов.

- Агент «производство» включает также производство для личных целей, которое не охватывается денежным обращением, но требует сырья и энергетических затрат и предусматривает транспортировку продуктов.

- «Производство» включает также промежуточные входы и выходы, которые его обеспечивают.

- Непосредственное извлечение материалов из природы происходит в агенте «добыча сырья» (эквивалентно разделу «ресурсы» в материальном балансе).

- Непосредственное возвращение материалов в природу происходит как в агенте «утилизация», так и путем свободной диффузии (эквивалентно разделу «использование» в материальном балансе).

- Все агенты обладают искусственным капиталом, который поддерживает материальный и энергетический потоки.

- Сельское хозяйство и его потребность в энергии в целях упрощения модель не учитывает. В качестве сырья здесь рассматривается только невозобновляемое минеральное сырье R.

- Уровень рассмотрения – глобальный; однако сам принцип можно перенести на более низкие уровни. В последнем случае необходимо еще учесть импорт и экспорт сырья и энергии.

- Только часть природного потенциала (в частности, земля как природный агент) используется

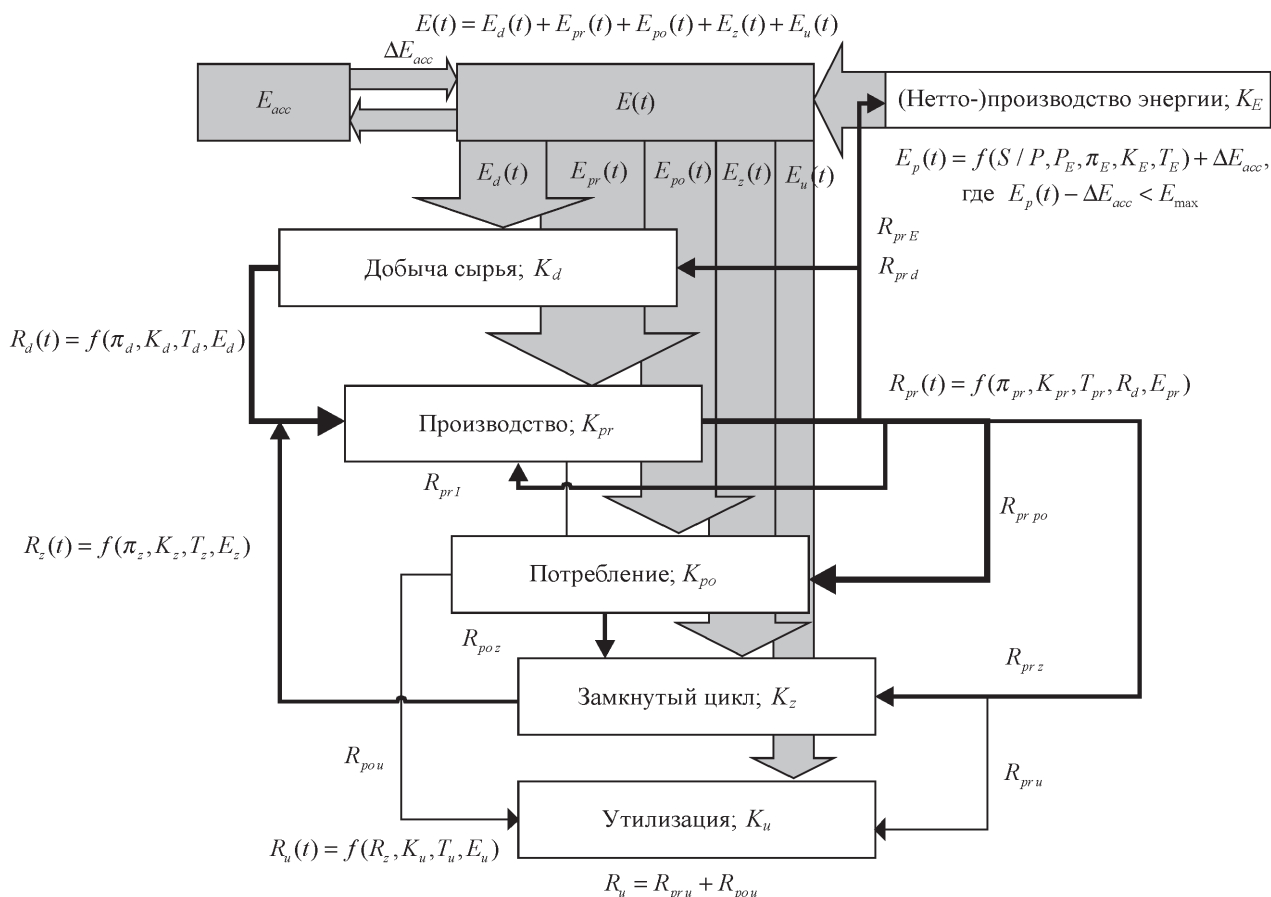


Рисунок. Двойственность материальных и энергетических потоков

для производства возобновляемой энергии; вторая часть остается для производства возобновляемого сырья (которое нами далее не рассматривается); еще часть земельных ресурсов не может колонизироваться из-за необходимости поддержания естественной способности экосферы к регенерации и остается в «естественном» состоянии.

- Потребности в земельных ресурсах возникают также у техносферы и у сельского хозяйства.
- С точки зрения устойчивой промышленной экологии, в модели предполагается, что в долгосрочном периоде выработка электроэнергии будет осуществляться только на основе возобновляемых источников.
- За определенный период может производиться только ограниченное количество полезной энергии $E_p(t)$, которую для устойчивого развития необходимо получать только из возобновляемых энергоносителей. Произведенное (полезное) количество энергии $E_p(t)$ – это функция от требующихся площадей и продуктивности последних. $E_p(t)$ зависит от излучаемой солнечной энергии на единицу площади S/P ; от имеющейся технологии π_E , обес-

печивающей специфическую продуктивность площадей; от используемой площади P_E ; от стоимости основного (искусственного) капитала для выработки электроэнергии K_E и числа занятых в выработке электроэнергии T_E : $E_p(t) = f(S/P, \pi_E, P_E, K_E, T_E)$. Геотермия как источник энергии не учитывается, так как о ее потенциале не имеется достаточной научной информации. Однако и для геотермии верен постулат о потребностях в площадях в зависимости от продуктивности последних. Плотность энергетического потока из земной коры также определяется излучаемой солнечной энергией на единицу площади.

- Теоретически существует максимально возможное за период количество полезной энергии на Земле (или в регионе) E_{max} , которое не может быть превышено (до тех пор, пока не открыты внешние или внутренние источники энергии, кроме солнца, гидроэнергии, ветра, силы волн и геотермии).
- В E_{max} уже учтены возможные конверсионные, транспортные потери и потери при распределении электроэнергии; они могут составлять в зависимости от состава агента от 20 до 30 %. Степень использования энергии различными агентами мо-

жет колебаться в некоторых пределах. E_{\max} остается постоянной.

- Энергия может накапливаться в виде E_{acc} , если $E_p(t)$ превышает потребность в энергии в периоде $t(E(t))$; E_{acc} может применяться в более позднем периоде.

- Энергия $E(t)$ распределяется по экономическим областям следующим образом: на добычу сырья E_d , производство E_{pr} , потребление E_{po} , замкнутый цикл E_z и утилизацию E_u , т.е. $E(t) = E_d + E_{pr} + E_{po} + E_z + E_u$. Энергия, получаемая людьми и домашними животными за счет питания, не учитывается.

- Искусственный капитал различных экономических областей формируется из сырьевых потоков прошлых периодов, связанных в средствах производства или предметах потребления, за вычетом сырьевого потока в замкнутом цикле (R_{poz}) и в утилизации (R_{pou}), например: $K_{pr} = \sum_t R_{pr} - (R_{poz} + R_{pou})$. Сырье, связанное в предметах потребления, снова поступает в распоряжение только после завершения их использования. Диссипативные потери в процессе потребления, как правило, непосредственно поступают в природный кругооборот и из-за их тонкого распределения технически не могут регенерироваться за короткий срок.

- Объем производства предметов потребления и средств производства зависит от энергии E_{pr} , вновь добытого сырья R_d и сырья в замкнутом цикле R_z , имеющейся технологии π_{pr} , стоимости основного капитала K_{pr} и численности занятых T_{pr} .

- Потребление вызывает метаболизм, который зависит от сырья R_{po} , связанного в предметах потребления, и энергии E_{po} , предоставленной для целей потребления. Здесь под потреблением понимаются вся энергия и сырье, расходуемые для любой человеческой деятельности, кроме производства (включая услуги). Эта деятельность охватывает проживание, мобильность, занятия в свободное время и т. д.

- Замкнутый цикл зависит, в частности, от энергии E_z , предоставленной для замкнутого цикла, количества сырья R_{poz} , от отходов производства, годных для замкнутого цикла, R_{prz} , технологии π_z , стоимости основного капитала K_z и численности занятых T_z . Эффективность технологии замкнутого цикла измеряется соотношением вновь применимых материалов и количеством энергии, используемым в замкнутом цикле.

- Производственные функции, учитывающие располагаемое количество энергии для отдельных отраслей народного хозяйства, зависят от энергетических потоков и обмена сырьем; изменение в

одной из отраслей влечет за собой изменения во всех других отраслях.

- Если для модели появляются фактические данные, то толщина стрелки должна соответствовать величине потока.

Из модели вытекают следующие положения, применимые для развития промышленной экологии:

- 1) ограниченное количество энергии необходимо распределять как можно эффективнее между отдельными экономическими областями. Вместе с тем с появлением промышленной экологии экономика снова возвращается к своим истокам: эффективным хозяйствам с ограниченными физическими ресурсами. Оптимизация экономики имеет своей целью оптимальное использование совокупной энергии из располагаемых естественных и искусственных ресурсов;

- 2) каждая из основных экономических функций связана с созданием или применением искусственных диссипативных структур, которые должны использовать энергию. Суммарные затраты энергии не могут превосходить имеющуюся в распоряжении энергию;

- 3) чем эффективнее применяется энергия во всех других агентах, тем больше энергии может быть использовано для замкнутого цикла;

- 4) так как мы стремимся терять в хозяйственном обороте по возможности меньше невозобновляемого сырья и увеличивать использование энергии в замкнутом цикле, то в пределах промышленной системы необходимо относительное перераспределение использования энергии в пользу замкнутого цикла;

- 5) следует существенно увеличить инвестиции в замкнутый цикл относительно других областей экономики; речь идет о структурном перераспределении естественных и искусственных ресурсов в пользу замкнутого цикла или экономного хозяйствования;

- 6) неиспользуемые более материалы R_u идут на утилизацию. С точки зрения промышленной экологии, R_u должны минимизироваться при наиболее приемлемых энергетических (E_u), технологических (π) и экономических затратах (K_u);

- 7) если этого не произойдет, то возникнет угроза долгосрочному обеспечению производства невозобновляемыми материалами;

- 8) невозобновляемому сырью всегда найдется техническое применение;

- 9) в долгосрочном периоде сырьевой поток в замкнутом цикле R_z растет по отношению к добы-

че сырья R_d . В фазе зрелой промышленной (для невозобновляемых ресурсов) номинально доминирует сырьевая составляющая производственной функции: $R_z > R_d$ при $t \rightarrow \infty$;

10) фактор времени в экономике получает новое (дополнительное) свойство. Время – это энергия, так как за единицу времени излучается солнечная энергия. В то же время располагаемая энергия является рабочим потенциалом, который может быть израсходован на добычу сырья, на производство, потребление или утилизацию;

11) стратегии повышения эффективности и продления срока жизни продукта получают новое значение; освобождающийся энергетический потенциал может использоваться в замкнутом цикле и обеспечивать сырьевую базу будущего; используемые более длительный срок продукты освобождают производство; при каждом операциональном решении нужно учитывать конфликты целей между затратами сырья и затратами энергии; целевыми установками являются минимизация прироста энтропии в глобальном масштабе и сохранение экологического баланса, а также природного капитала;

12) стратегия выживания уменьшает запросы областей «производство» и «потребление» на энергию и сырье и является, таким образом, необходимым инструментом при формировании устойчивого индустриального общества;

13) парадигма состоятельности (непротиворечивости), с точки зрения промышленной экологии, означает следующее: только с имеющейся технологией и непротиворечащим природе материальным потоком можно реализовывать замкнутый цикл. Промышленная экология может осуществляться только в устойчивой экономике (Steady State Economy), так как неограниченно растущее потребление нагружает энергетическую базу и одновременно увеличивает количество материалов в хозяйственном обороте, вследствие чего вновь растет расход энергии. Такая положительная обратная связь не может осуществляться вечно, так как согласно законам термодинамики эффективность ресурсов не может повышаться бесконечно;

14) обычные действия по охране окружающей среды дополняются общим принципом экологической совместимости всех способов производства и способов хозяйствования (положение непротиворечивости); охрана окружающей среды в узком смысле относительно теряет значение;

15) исходя из опыта, при выработке электроэнергии из возобновляемых источников и в замкнутом цикле трудоемкость выше, чем в массовом производстве [5]. Поэтому от названных структурных сдвигов можно ожидать положительных последствий на рынке труда.

Кроме того, потребуются дальнейшие исследования материалов относительно их свойств (возобновляемые–невозобновляемые). Разделение ресурсов на возобновляемые и невозобновляемые необходимо осмыслить, по меньшей мере, относительно используемого сырья. Природа, которая периодически предоставляет возобновляемое сырье, сокращает спрос на невозобновляемые в антропогенном смысле ресурсы. Минеральные вещества извлекаются из земли и воздуха, устанавливаются в морфологические структуры, связываются в органическую материю и распределяются в конечном итоге между потребителями. Речь идет о ритмичном доступе к конечным сырьевым субстанциям, которые приводятся в движение излучаемой солнечной энергией и снова будут рассеиваться. Это происходит при значительных (возобновляемых) затратах энергии.

Таким образом, для устойчивого способа производства не нужно полностью отказываться от невозобновляемого минерального сырья, а следует применять его только в таком объеме, который требует приемлемых затрат возобновляемой энергии в хозяйственном обороте. Последнее касается и невозобновляемых, и возобновляемых ресурсов, так как природа также не делает между ними различий, а возвращается по мере надобности к естественным материалам и присоединяет их из органической материи. По первому закону термодинамики материя не исчезает. Однако энергия для сохранения полезности или эксплуатации материи должна поступать в рассматриваемую систему извне. При этом нужно обратить внимание на то, что в отношении введенного в хозяйственный оборот материала при повторном применении или дальнейшем использовании по возможности должны ликвидироваться небольшие различия в концентрации, так как с увеличением таких различий растет использование энергии.

Использование невозобновляемых ресурсов осуществляется, как правило, с существенно более высокой производительностью площадей, чем использование возобновляемых ресурсов. Поэтому необходимо время от времени возвращаться к невозобновляемым ресурсам, так как

при полном переходе на возобновляемые ресурсы предъявлялись бы неприемлемо высокие запросы на площади, которые нельзя было бы обеспечить за счет неколонизированных природных областей.

Вывод: экономической проблемой, решаемой с помощью промышленной экологии, является «оптимальное» распределение ограниченной в единицу времени энергии для обеспечения максимальной полезности. При этом существенное значение уделяется «экономной» экономике и ее потребности в энергии, так как устойчивое снабжение сырьем представляет собой основную предпосылку производства товаров. Дальнейшее повышение энергетической эффективности и эффективности ресурсов во всех агентах увеличивает достигаемую полезность, причем эффекты связаны рекурсивно. Более эффективное использование сырья одновременно экономит энергию его добычи; более эффективное использование энергии уменьшает требования к использованию сырья для получения энергии. Эти предпосылки обуславливают возможности промышленной экологии.

Нынешний уровень потребления товаров и услуг не только порождает экологические проблемы, но и угрожает национальной безопасности [2]. Потребность в менее «потребительском» образе жизни (так неохотно признаваемая владельцами ресурсов и некоторыми учеными-экономистами) обусловлена не только этическими нормами, но и проблемами поддержания уровня потребления, сложившегося в индустриальном обществе. Вытекающая отсюда избыточная эксплуатация источников ресурсов и предприятий по утилизации отходов должна элиминироваться не только путем повышения эффективности их использования, но и путем изменения уровня потребления в развитых странах.

Промышленная экология в четырехугольнике устойчивого развития располагается по центру: между рыночным либерализмом и индифферентностью, между техническим и экологическим развитием [3]. Экономность при этом является необходимым компонентом, который обеспечивает пространство для маневра при росте численности населения. Можно заметить, что поведение людей в промышленно развитых странах (и как

поставщиков рабочей силы, и как потребителей) имеет поисковый характер. Это поиск путей карьерного роста, увеличения зарплаты, большего потребления и т.д. Этому подчиняются все другие жизненные установки, т. е. поисковое поведение в промышленно развитых странах рекурсивно усиливается за счет положительных обратных связей. Негативные побочные эффекты игнорируются. Воспринимаются только шансы, и считается, что поисковое поведение вполне может быть устойчивым, не вызывая когнитивного диссонанса. А то, что требуется изменение сознания (по крайней мере, частичное), направленное на отказ от сиюминутной наживы, обсуждается только в кулуарах. Без распространения информации о невозможности сохранения существующего образа жизни (при любом повышении эффективности) невозможны устойчивое развитие и промышленная экология.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дорохина Е. Ю.* Промышленная экология : последовательный переход к реализации / Е. Ю. Дорохина, К. Ю. Огольцов // *Материалы VIII международной научно-практической конференции «Научный потенциал мира – 2012»* 17–25 сентября 2012 г. – Т. 14 : Биология. Химия и химические технологии. Экология. – София : «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2012. – С. 61–63.
2. *Харченко С. Г.* Анализ рисков окружающей среды / С. Г. Харченко, Е. Ю. Дорохина // *Вопросы анализа риска.* – 2009. – № 1/2 (15/16). – С. 92–105.
3. *Ayres R. U.* Resources, Scarcity, Growth and the Environment / R. U. Ayres. – Fontainebleau Cedex (France), 2000.
4. A non-equilibrium thermodynamic model of industrial development : analogy or homology / J. S. Baldwin [u.a.] // *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. – 2004. – Н. 8–10. – S. 841–853.
5. Ein ökologisch-soziales Nachhaltigkeitsszenario für Deutschland. Theoretische Grundlagen und empirische Ergebnisse / F. Hinterberger [u.a.] // *Hartard S., Stahmer C., Hinterberger F. Magische Dreiecke. Berichte für eine nachhaltige Gesellschaft.* – В. 1: Stoffflussanalysen und Nachhaltigkeitsindikatoren. – Marburg, 2000. – S. 13–41.
6. *Husar R. B.* Ecosystem and the biosphere : Metaphors for human-induced material flows / R. B. Husar // *Ayres R. U., Simonis U. E. Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development.* – Tokyo ; New York ; Paris, 1994. – S. 21–30.

*Российский экономический университет имени
Г. В. Плеханова*

*Дорохина Е. Ю., доктор экономических наук,
профессор*

E-mail: Elena_Dorokhina@mail.ru

Тел.: 8-926-601-36-40

*Russian University of Economics named after
G. V. Plekhanov*

*Dorokhina E. Yu., Doctor of Economics, Profes-
sor*

E-mail: Elena_Dorokhina@mail.ru

Tel.: 8-926-601-36-40

*Международный независимый эколого-полито-
логический университет (Академия МНЭПУ)*

Огольцов К. Ю., аспирант

E-mail: Zeroegle@mail.ru

Тел.: 8-926-872-40-85

*International Independent University of Environ-
mental and Politological Sciences (IIUEPS Acade-
my)*

Ogol'cov K. Yu., Post-graduate Student

E-mail: Zeroegle@mail.ru

Tel.: 8-926-872-40-85