О ПРИНЦИПАХ ПОВЕДЕНИЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Н. С. Попов, О. В. Пещерова, Л. Н. Чуксина

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический
университет», г. Тамбов, Россия;
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет
им. Г. Р. Державина, г. Тамбов, Россия*

Рецензент д-р техн. наук, профессор В. Н. Шамкин

Ключевые слова: благосостояние; концепции утилитаризма, эгалитаризма и элитаризма; неоклассическая экономика; природо-промышленные системы; телеологическое учение; устойчивое развитие.

Аннотация: Проанализированы принципы поведения живого вещества в социально-экономических и экологических системах в интересах согласования целей их совместного устойчивого развития.

В мире не происходит ничего,
в чем бы не был виден смысл какого-
нибудь максимума или минимума.

Л. Эйлер

Введение

Способность человека к активным действиям в биосфере все чаще рассматривается не только как источник удовлетворения его жизненно необходимых потребностей, но и как причина появления серьезных проблем, если эти действия противоречат закономерностям естественного саморазвития природы. Результатом нерационального поведения человека в окружающей среде стала и проблема устойчивого развития цивилиза-

Попов Николай Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Природопользование и защита окружающей среды»; Пещерова Ольга Викторовна – ассистент кафедры «Природопользование и защита окружающей среды», e-mail: eco@nnn.tstu.ru, ТамбГТУ; Чуксина Людмила Николаевна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры зарубежной филологии и прикладной лингвистики, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г. Р. Державина», г. Тамбов, Россия.

ции, над разрешением которой с 1970-х годов прошлого века работают ученые в развитых странах мира.

На региональном уровне объектами управления устойчивым развитием являются саморазвивающиеся природо-промышленные системы (ППС), структура которых, в соответствии с законом баланса консервативности и изменчивости, строится из двух типов подсистем: природных (консервативных), сохраняющих и закрепляющих строение и функциональные особенности системы в целом, и промышленных (эволюционных), способных к видоизменению и даже саморазрушению ППС, с образованием новой функционально-морфологической реальности, соответствующей обновляющейся среде существования системы [1, 2]. И хотя природные подсистемы не являются в полной мере консервативными (из-за своего участия в сукцессионных процессах), однако, по сравнению с динамикой процессов в промышленных подсистемах, их по праву относят к структурно устойчивым, мало чувствительным в своей основе к внешним воздействиям.

Таким образом, различные по особенностям и назначению подсистемы оказываются объединенными одной общей проблемой устойчивого развития. И если для промышленных подсистем развитие означает улучшение социально-экономических показателей, таких как доход, производительность или благосостояние, то для природных оно ассоциируется с сохранностью и ростом их базовых сущностей – ресурсов, биоразнообразия, качества среды обитания живых организмов и т.п.

С учетом названных обстоятельств возможны три основных варианта постановок задач управления устойчивым развитием:

- первый направлен на максимизацию социально-экономических показателей при ограничениях на эксплуатацию природных ресурсов и качество среды обитания;

- второй нацелен на максимизацию сохранности потенциала ресурсной экономики и улучшение качества среды обитания в условиях соблюдения допустимого для современной жизни людей уровня социально-экономического развития;

- в третьем необходимо оптимизировать векторную целевую функцию, компонентами которой являются социально-экономические и природообразующие показатели состояния ППС.

Анализ всех трех вариантов постановок приводит к мысли о том, что улучшение экономических критериев неизбежно затронет потребление природных ресурсов и загрязнение окружающей среды, а выполнение обязательств по улучшению ресурсной базы и качества среды обитания в долгосрочном периоде затормозит рост экономики. В таком случае оптимальная стратегия управления ППС, ориентированная на 20 и более лет, должна содержать механизм справедливого распределения ограниченных запасов природных ресурсов не только внутри нынешнего поколения людей, но и между смежными, численность и интересы которых достоверно никому не известны. При этом согласование целей развития природных и промышленных подсистем в ППС возможны, прежде всего, на основе этических соображений, характеризующих долговременное «социально справедливое» распределение ресурсов.

Неоклассический подход к разработке теории устойчивого развития

К числу современных и продуктивных научных подходов, связанных с разработкой теоретических положений устойчивого развития, относится неоклассический [3], основанный на формальном описании явлений в экономике, предположениях рационального индивидуального поведения, принятии решений в результате максимизации полезности и выгоды, взаимодействиях участников транзакций через ценовое предложение и рыночный клиринг. С позиции утилитаристского подхода, свойственного неоклассической экономике, теоретическая основа концепции устойчивого развития напрямую связана с обоснованием такой стратегии формирования движения¹ ППС, которая позволяет максимизировать общественное благосостояние и гарантировать при этом сохранность всего природного капитала на длительном периоде времени. Ответ на вопрос: а найдется ли такая траектория развития в мире ограниченных ресурсов, и не вступает ли сам факт их исчерпанности в противоречие с устойчивостью развития, основанной на потреблении природных ресурсов, – пока остается открытым.

Исследованию этого важнейшего вопроса посвящено немало работ, в числе которых фундаментальными являются работы Нобелевских лауреатов Р. Солоу и Дж. Стиглица [4 – 7]. Замечания и выводы по данным работам содержатся, например, в книге [8].

Поскольку опыт в решении задач устойчивого социально-экономического развития в мировой практике на сегодня отсутствует, полезно обратить внимание на апробированные в природе механизмы длительного сосуществования и эволюции экосистем. И в этом плане цели настоящей работы связаны с анализом и сравнением принципов поведения живого вещества² соответственно в социально-экономических и экологических системах, а также с попыткой согласования их «интересов» при решении проблемы устойчивого развития экономики, природы и общества.

Концептуальные подходы к межвременному распределению ресурсов

Под благосостоянием экономисты понимают обеспеченность людей жизненными благами или средствами существования. Интересы и цели их потребителей, определяющие в итоге рациональное поведение людей, могут быть представлены в виде некоторой системы предпочтений в пространстве полезностей того или иного блага. Операция агрегирования индивидуальных предпочтений позволяет построить функцию общественного благосостояния типа Бергсона–Самуэльсона, постулирующую зависимость общественного благосостояния W от полезностей, получаемых каждым членом сообщества,

¹ Под словом «движение» здесь понимается рост эффективности производств, улучшение качества интеллектуальных и трудовых ресурсов.

² Термин «живое вещество» введен академиком В. И. Вернадским, считавшим человечество частью однородного живого вещества.

$$W = W(U_1, U_2, \dots, U_i, \dots, U_n), \quad (1)$$

где U_i – индивидуальные важнейшие полезности i -го члена сообщества, $i = \overline{1, n}$.

Фактически функция W устанавливает соответствие качественных оценок полезностей количественным значениям, что способствует более объективному принятию решений на ее основе. Если этическая позиция лиц, принимающих решение, состоит в том, что благосостояние каждого члена сообщества имеет одинаковую ценность, тогда общественное благосостояние представимо в виде суммы значений функций индивидуальных полезностей.

Для утилитаристской концепции общественно оптимального использования ресурса поиск траектории его разработки предполагает максимизацию полезности этого ресурса для всего общества в пределах интересующего горизонта управления ППС. При этом стратегия управления основывается на принципе максимизации интегрального критерия вида [8]

$$W = \int_0^T U(t, q(t)) e^{-rt} dt \rightarrow \max, \quad (2)$$

где $U(\cdot, \cdot)$ – полезность ресурса в момент времени t , а $q(t)$ – скорость его разработки; e^{-rt} – фактор дисконтирования, r – постоянная во времени социальная ставка дисконтирования ресурса, с помощью которой его будущая полезность приводится к настоящему времени (исходя из того, что ближайшее потребление возможно более важно, чем отдаленное); T – время управления.

От выбора дисконтного процента r зависит, какой вес получает ресурс в будущем. Низкий процент переносит основной акцент на будущее потребление ресурса, на получаемые от него выгоды, а высокий – придает большее значение сегодняшней его полезности. Таким образом, r ориентирует принятие решений по разработке ресурса на «социально справедливое» его распределение между различными поколениями людей.

Заметим, что значение функции U понимают как выгоду от потребления ресурса, уменьшенную на величину стоимости его добычи, то есть как «чистую полезность», а $U(t)$ – как темп изменения.

Максимизация критерия (2) с учетом возможных внешних ограничений означает, что большему значению W соответствует лучшая программа разработки (потребления) ресурса на интервале $[0, T]$. Данный критерий соответствует широко известной в классической экономике модели «деления пирога» [8]. Особенности ее применения в ресурсной экономике состоят в следующем: общество обладает конечным запасом однородного и важного для удовлетворения потребностей ресурса, который оно может разрабатывать с неизменными предельными издержками, а возможность конкурентного потребления ресурса участниками рынка в различные периоды времени отождествляется с проблемой его распределения между смежными поколениями людей.

Отмечено, что в концепции утилитаризма учитывается принцип эффективности по Парето, а конкурентный рынок обеспечивает эффективный механизм установления справедливости между его участниками [8]. Вместе с тем использование критерия (2) предполагает наличие ряда существенных допущений.

1. Собственная (нерыночная) ценность ресурсной основы биосферы игнорируется, а рассматривается только с позиции удовлетворения конкурирующих между собой человеческих потребностей.

2. Понятие общественного благосостояния переносится от индивидуума на все общество, что воспринимается весьма скептически.

3. Необходимость определения полезности ограниченных ресурсов для будущих поколений может быть «окрашена» эгоизмом поколения, принимающего решения.

4. Описанный подход не учитывает фактор неопределенности, связанный с будущими реалиями (технологическим укладом, потребностью в ресурсах, численностью населения и т.п.).

Иная концепция справедливости, именуемая эгалитарной или уравнительной, предполагает распределение ресурсов с позиции повышения благосостояния того поколения, которое находится в наихудшем положении. В ней используется максиминный принцип оптимальности благосостояния

$$W(t) = \max_{q(t)} \min_t (U(t), q(t)), \quad (3)$$

где для момента времени t определяется поколение с самым низким значением полезности доступного ресурса, а затем осуществляется максимизация полезности соответствующим выбором $q(t)$. Данный принцип позволяет определить траекторию с наиболее реалистичным уровнем общественного благосостояния, основанным на пессимистических оценках развития.

В отличие от эгалитарной концепции элитарная, наоборот, построена на максимизации благосостояния поколения, находящегося в лучшем положении, чем другие. Для нее функция благосостояния определяется следующим образом

$$W(t) = \max_{q(t)} \max_t (U(t), q(t)), \quad (4)$$

где принцип максимакса позволяет в момент времени t определить поколение с наивысшим уровнем полезности ресурса, а затем максимизировать полезность, основываясь исключительно на оптимистических оценках процессов развития. Но в этом случае вероятны опасения, что использование данного принципа приведет к распределению ресурсов в пользу существующего поколения.

В работе [9] показано, что при соответствующем выборе функции благосостояния и социальной ставке дисконтирования утилитаристский подход приводит к идентичным результатам с максиминным, в связи с чем он оказывается доминирующим.

В работе [4] Р. Солоу проанализировал ряд важнейших сценариев развития экономики с использованием максиминного критерия управления и макроэкономических моделей в форме нелинейных производственных функций (включая мультипликативную функцию Кобба–Дугласа). Им были решены задачи экономического роста в условиях:

- постоянства численности народонаселения, технологического уровня и отсутствия недостатка в природных ресурсах;
- экономического роста населения;
- технологического прогресса;
- ограниченности ресурса;
- нулевого роста народонаселения и нулевого технического прогресса;
- экспоненциального роста народонаселения и неограниченного технического прогресса.

Не останавливаясь подробно на экономических особенностях решений данных задач, общий вывод Р. Солоу следующий:

- принцип максимина, по-видимому, будет разумным критерием принятия решений при распределении ресурсов между поколениями людей. Однако он требует большого начального капитала для поддержания приемлемого стандарта жизни, без которого навсегда сохранится бедность;
- устойчивое существование и хозяйствование возможны и при ограниченных ресурсах, но для этого требуются особые условия замещения невозобновляемых ресурсов антропогенным капиталом.

Телеологическая концепция природы в проблеме устойчивого развития

Одно из философских учений, связанных с объяснением явлений природы и позволяющих лучше познать биоэкологическую сторону проблемы устойчивого развития, именуется телеологическим [10]. Оно приписывает процессам и явлениям природы наличие внутренней цели, либо способности к целеполаганию. И хотя в применении к животному, и тем более растительному, миру сложно говорить о сознательных и целенаправленных решениях, тем не менее, поведение живого вещества в среде обитания полезно трактовать как целеустремленное [11]. Существование цели позволяет рассматривать многообразие биологических механизмов и их проявлений с каких-либо единых позиций, отчего в математической экологии возникла тенденция к формулированию основных динамических закономерностей поведения популяций и сообществ в форме экстремальных принципов.

В числе тех, кто впервые сформулировал гипотезу о наличии цели в биологическом сообществе, вероятнее всего был А. Лотка (1922 г.), выразивший ее следующим образом: «естественный отбор стремится сделать энергопоток через систему максимальным, насколько это возможно при тех ограничениях, для которых система является субъектом» [12]. Примерно в это же время академик В. И. Вернадский, проанализировав функцию живого вещества в геосферах, сформулировал три экстремальных биогеохимических принципа, важнейший из которых утверждает: «... биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению». Из объединения этих принципов следует, что прогрессивная эволюция любой биосистемы ведет к увеличению через нее суммарных потоков питательных веществ и энергии. Живое вещество биосферы, используя непрерывность поступления космической энергии, всегда развивалось по принципу «самоуправляемого

расширенного воспроизводства» биомассы, численности организмов, их разнообразия и растущей сложности.

По смысловому содержанию принципов А. Лотки и В. И. Вернадского целью живого вещества в биосфере является нахождение таких жизненно важных потоков элементов питания q_m^* и энергии q_s^* , при которых его продуктивность³ оказывается максимальной [13]

$$B(q_m^*, q_s^*) = \max_{\substack{q_s \in Q_s \\ q_m \in Q_m}} B(q_m, q_s | S, \varepsilon), \quad (5)$$

в условиях сложившейся структуры окружения S и случайных факторов ε , влияющих на биогенную миграцию элементов питания и поглощение энергетических ресурсов в среде обитания.

В динамике процесс роста живого вещества на бесконечном времени, то есть при $T \rightarrow \infty$, описывается выражением

$$W_b = \int_0^T B(\bar{q}(t), t) dt \rightarrow \max, \quad (6)$$

где W_b – «биологическое» благосостояние; $B(\cdot, \cdot)$ – скорость изменения продуктивности в момент времени t ; $\bar{q}(t) \in Q$ – n -мерный вектор потоков питательных веществ и энергий, $Q = Q_m \times Q_s$ – доступные материально-энергетические ресурсы, $\times$ – знак декартова произведения.

Поскольку живое вещество обладает свободой выбора необходимых для жизнедеятельности ресурсов, оно фактически реализует своими действиями систему предпочтений их полезности, а поэтому продуктивность B можно считать биологическим аналогом функции полезности U в социально-экономических системах, или ее результатом. Вместе с ростом продуктивности увеличивается численность особей в популяции, зависящая от темпов их рождаемости и смертности. Известны понятия максимальной (теоретической) скорости образования новых особей в идеальных условиях (при отсутствии лимитирующих экологических факторов) и реализованной (практической), меняющейся в зависимости от сложившихся условий среды обитания. Аналогичным образом различают минимальную смертность – гибель особей в идеальных условиях, при которых популяция не подвергается лимитирующим воздействиям, и реализованную – гибель особей в конкретных условиях среды обитания [14].

В природных популяциях в непродолжительные периоды времени при изобилии пищевых ресурсов, отсутствии перенаселенности, хищников и т.п., нередко проявляется закон геометрического роста популяции, а при возникновении лимитирующих факторов в среде обитания рост численности хорошо описывается логистической функцией Ферхюльста.

Если в социально-экономических системах человек лично принимает решения по оптимальному межвременному распределению ресурса на основе своих рациональных соображений, то в экологических подобная

³ Продуктивность – скорость прироста биомассы с единицы площади за определенный период времени.

задача решается непосредственно в процессе эволюции растительного и животного мира, сопутствующим продуктом которой является качественное и количественное преобразование ресурсной основы биосферы (биотопов) под будущие поколения живых организмов (биоценозов), появляющихся вследствие изменения внешних условий и механизма естественного отбора. Причем этот циклический во времени процесс: «биотоп → биоценоз → <естественный отбор> → биотоп → ...» постоянно осложнен условиями неопределенности внутри- и межвидовых отношений, состава лимитирующих и климатических факторов и т.п. Однако в этих условиях наилучшим вариантом развития живого вещества в биосфере все же является генетическая программа геометрического роста популяций, зависящий от их репродуктивных возможностей.

В 1930 году Р. Фишер проанализировал вопросы продолжительности жизни человека и особенности репродукции популяции исходя из закона ее геометрического роста [15].

Его выводы состоят в следующем. Если l_x – число особей, доживших до возраста x , а b_x – скорость репродукции в возрасте x , тогда ожидаемое число потомков для каждого возрастного отрезка dx равно $l_x b_x dx$. Общее ожидаемое число потомков на протяжении всей жизни составит величину

$$\int_0^{\infty} l_x b_x dx, \quad (7)$$

где интеграл охватывает все возрастные группы, в течение которых возможна репродукция.

Поскольку нас интересуют скорость, с которой происходили рождения x лет назад (в связи с задачей роста численности популяции в будущем), численность людей возрастного интервала dx будет равна $e^{-mx} l_x b_x dx$, а общая скорость роста численности по возрастам составит

$$\int_0^{\infty} e^{-mx} l_x b_x dx, \quad (8)$$

где m – мальтузианский параметр численности популяции, характеризующий относительную скорость роста.

Английский статистик, биолог-эволюционист, генетик Р. Фишер выявил важную аналогию между законом геометрического роста популяции и приростом капитала, инвестируемого под сложные проценты. Из этого он делает следующий вывод: «...параметр m соответствует размеру процентной ставки, при которой реальный показатель ожидаемого числа рождений потомков в момент рождения их родителей равен единице». То есть рождение ребенка – это предоставление ему «займа жизни» или «ссуды», а появление от него потомков – последующая выплата долга. При этом метод вычисления параметра m эквивалентен ответу на вопрос – при какой процентной ставке выплаты будут соответствовать размеру ссуды?

Кроме этого Р. Фишер ввел понятие «репродуктивной ценности» с помощью функции

$$v(x) = \frac{e^{mx}}{l_x} \int_x^\infty e^{-mt} l_t b_t dt, \quad (9)$$

позволяющей оценить чувствительность каждой возрастной группы к появлению потомства. Из (9) следует, что при любом возрастном составе популяции ее суммарная репродуктивная ценность будет увеличиваться или снижаться в соответствии с параметром m , значения которого зависят от результатов естественного отбора (приспособленности организмов к условиям среды обитания, климатическим факторам и т.п.)

Следовательно, если e^{-rt} в выражении (2) является функцией экспоненциального взвешивания полезности ресурса во времени, определяющей уровень благосостояния очередного поколения людей (включая и их рождаемость), то e^{-mt} – функция экспоненциального взвешивания рождаемости особей в популяции, зависимой, помимо прочего, от качества и количества ресурсов в среде обитания (чем выше их полезность, тем очевиднее рождаемость). Поскольку параметры r в (2) и m в (8) аналогичны по смыслу, а критерии (2) и (6) сходны, значит цели экологического и социально-экономического развития можно согласовать при использовании принципа максимизации общественного W и биологического W_b благосостояния на интересующем отрезке времени $[0, T]$.

Вместе с тем существует одно важное обстоятельство, которое следует учесть при конструировании поведения живого вещества в социально-экономических системах на интервалах времени, значительно превосходящих время жизни одного поколения. Поведение должно отражать действия адаптационных механизмов, свойственных особям в экологических системах и обеспечивающих практически «вечное» их существование в биосфере.

Примером работы таких механизмов является расширенный интегральный критерий благосостояния, предложенный в работах [16, 17],

$$\theta \int_0^\infty U(C_t, A_t) e^{-\delta t} dt + (1 - \theta) \lim_{t \rightarrow \infty} U(C_t, A_t) \rightarrow \max, \quad (10)$$

где $U(C_t, A_t)$ – сильно вогнутая и непрерывно дифференцируемая действительнозначная функция полезности, определенная на потреблении C_t запасов экологических ресурсов A_t ; δ – ставка дисконтирования ресурса; $\theta \in [0, 1]$ – весовой коэффициент; $\lim_{t \rightarrow \infty} U(C_t, A_t)$ – предельное значение функции полезности при $t \rightarrow \infty$.

С помощью выбранного значения θ можно регулировать вес дисконтированной функции полезности на бесконечном времени и тем самым обеспечивать устойчивость социально-экономического и экологического развития. При $\theta = 1$ вместо (10) имеем чисто дисконтированный утилитаризм, сходный с (2), а при $\theta = 0$ – максимизацию долгосрочного значения функции полезности, учитывающую весьма отдаленные последствия деятельности человека в биосфере (захоронение радиоактивных отходов, изменения климата и т.п.).

Список литературы

1. Повышение энергоэффективности природно-промышленных систем : учебное пособие / Н. С. Попов, В. Бьянко, И. О. Лысенко [и др.] ; под общ. ред. Н. С. Попова. – Тамбов : Издательство Першина Р. В., 2014. – 146 с.
2. Моделирование технологических и природных систем : учебное пособие / Е. В. Ермолаева [и др.] ; под общ. ред. Ю. Т. Панова, Н. С. Попова. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2014. – 154 с.
3. Колемаев, В. А. Математическая экономика : учебник для вузов / В. А. Колемаев. – М. : ЮНИТИ, 1998. – 240 с.
4. Solow, R. M. Intergenerational Equity and Exhaustible Resources / R. M. Solow // Review of Economic Studies, Symposium Issue. – 1974. – P. 29 – 45.
5. Stiglitz, J. E. Growth with Exhaustible Natural Resources : Efficient and Optimal Growth Paths / J. E. Stiglitz // Review of Economic Studies, Symposium Issue. – 1974. – P. 123 – 137.
6. Hartwick, J. M. Intergenerational Equity and Investing of Rents from Exhaustible Resources / J. M. Hartwick // American Economic Review. – 1977. – Vol. 67. – P. 972 – 974.
7. Hotelling, H. The Economics of Exhaustible Resources / H. Hotelling // J. of Political Economy. – 1931. – Vol. 39. – P. 137 – 175.
8. Эндрес, А. Экономика природных ресурсов : учебное пособие / А. Эндрес, И. Квернер. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2004. – 256 с.
9. Dasgupta, P. S. Economic Theory and Exhaustible Resources / P. S. Dasgupta, G. M. Heal. – Cambridge, 1979. – 307 p.
10. Blaug, M. The Methodology of Economics : Or How Economists Explain / M. Blaug. – Cambridge : Cambridge University Press, 1992. – 286 p.
11. Свиричев, Ю. М. Устойчивость биологических сообществ / Ю. М. Свиричев, Д. О. Логофет. – М. : Наука, 1978. – 352 с.
12. Lotka, A. J. Elements of Mathematical Biology / A. J. Lotka. – N.Y. : Dower, 1956. – 465 p.
13. Попов, Н. С. Вернадский, эволюция и устойчивое развитие / Н. С. Попов, О. В. Пещерова, А. А. Чуксин // Вopr. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 4 (66). – С. 29 – 40.
14. Экология : в 2-х т. Т. 2 / Ю. Одум ; пер. с англ. Ю. М. Фролова ; под ред. В. Е. Соколова. – М. : Мир, 1986. – 376 с.
15. Fisher, R. A. The Genetical Theory of Natural Selection / R. A. Fisher. – Oxford : Clarendon Press, 1930.
16. Beltratti, A. The Environment and the Long Run : a Comparison of Different Criteria / A. Beltratti, G. Chichilnisky, G. M. Heal // Ricerche Economiche. 1994. – No. 48. – P. 319 – 340.
17. Sustainability : Dynamics and Uncertainty / Ed. by G. Chichilinsky, G. M. Heal, A. Vercelli. – Springer Science + Business Media Dordrecht, 1998. – 338 p.

References

1. Popov N.S. [Ed.], B'yanko V., Lysenko I.O. [et al.] *Povysheniye energoeffektivnosti prirodno-promyshlennykh sistem: uchebnoye posobiye* [Increasing the energy efficiency of natural-industrial systems: study guide], Tambov: Izdatel'stvo Pershina R.V., 2014, 146 p. (In Russ.)
2. Yermolayeva Ye.V. [et al.], Panov Yu.T., Popov N.S. [Eds.] *Modelirovaniye tekhnologicheskikh i prirodnykh sistem: uchebnoye posobiye* [Modeling of technological and natural systems: a tutorial], Tambov: Izdatel'stvo Pershina R.V., 2014, 154 p. (In Russ.)

3. Kolemeyev V.A. *Matematicheskaya ekonomika: uchebnik dlya vuzov* [Mathematical economics: a textbook for universities], Moscow: YUNITI, 1998, 240 p. (In Russ.)
4. Solow R.M. Intergenerational Equity and Exhaustible Resources, *Review of Economic Studies, Symposium Issue*, 1974, pp. 29-45.
5. Stiglitz J.E. Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths, *Review of Economic Studies, Symposium Issue*, 1974, pp. 123-137.
6. Hartwick J.M. Intergenerational Equity and Investing of Rents from Exhaustible Resources, *American Economic Review*, 1977, vol. 67, pp. 972-974.
7. Hotelling H. The Economics of Exhaustible Resources, *J. of Political Economy*, 1931, vol. 39, pp. 137-175.
8. Endres A., Kverner I. *Ekonomika prirodnikh resursov: uchebnoye posobiye* [Economics of natural resources: a tutorial], St. Petersburg: Piter, 2004, 256 p. (In Russ.)
9. Dasgupta P.S., Heal G.M. *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge, 1979, 307 p.
10. Blaug M. *The Methodology of Economics: How Economists Explain*, Cambridge: Cambridge University Press, 1992, 286 p.
11. Svirezhev Yu.M., Logofet D.O. *Ustoychivost' biologicheskikh soobshchestv* [Stability of biological communities], Moscow: Nauka, 1978, 352 p. (In Russ.)
12. Lotka A.J. *Elements of Mathematical Biology*, N.Y.: Dower, 1956, 465 p.
13. Popov N.S., Peshcherova O.V., Chuksin A.A. [Vernadsky, Evolution and Sustainable Development], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2017, no. 4 (66), pp. 29-40. (In Russ., abstract in Eng.)
14. Odum Yu., Sokolov V.Ye. [Ed.] *Ekologiya: v 2-kh t. T. 2* [Ecology: in 2 tons. T. 2], Moscow: Mir, 1986, 376 p.
15. Fisher R.A. *The Genetical Theory of Natural Selection*, Oxford: Clarendon Press, 1930.
16. Beltratti A., Chichilnisky G., Heal G.M. The Environment and the Long Run: a Comparison of Different Criteria, *Ricerche Economiche*, 1994, no. 48, pp. 319-340.
17. Chichilnisky G., Heal G.M., Vercelli A. [Eds.] *Sustainability: Dynamics and Uncertainty*, Springer Science + Business Media Dordrecht, 1998, 338 p.

The Principles of Behavior of Living Substances in Socio-Economic and Environmental Systems

N. S. Popov, O. V. Peshcherova, L. N. Chuksina

Tambov State Technical University, Tambov, Russia;

G. R. Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia

Keywords: welfare; concepts of utilitarianism, egalitarianism and elitism; neoclassical economics; nature systems; teleological studies; sustainable development.

Abstract: This paper is devoted to the analysis of the principles of the behavior of living matter in socio-economic and environmental systems in order to harmonize the goals of their joint sustainable development.

© Н. С. Попов, О. В. Пещерова, Л. Н. Чуксина, 2019