

**К ВОПРОСУ ОБ ИНДИКАЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС И УЧЕТОМ ГЛОБАЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА ЭНТРОПИИ**

Н.Е. Сердитова

Тверской государственный университет, г. Тверь
Кафедра экономики и управления производством

Е.В. Конокотова

Российский государственный гидрометеорологический университет
Кафедра экономики предприятия и учетных систем

В данной работе осуществляется исследование направления, связанного с комплексной оценкой антропогенного воздействия на окружающую среду с использованием геоинформационных технологий (ГИС).

Ключевые слова: принцип максимума производства энтропии, скорость производства энтропии, индекс относительной энтропийной устойчивости.

**THE PROBLEM OF STABLE DEVELOPMENT INDICATION
USING GIS TECHNOLOGY AND CONSIDERING GLOBAL
ENTROPY PRODUCTION**

N.E. Serditova

The department of enterprise economy of Tver State University

Konokotova E. V.

The department of enterprise economy and accounting systems of Russian
State Hydrometeorological University

An approach for integrated estimation of the anthropogenic impact on the environment using GIS technology is studied.

Keywords: maximal entropy production principle, the rate of entropy production, the index of relative entropy stability.

Производство продукции в природе осуществляется согласно саморегуляции на основе естественных (биотических и абиотических) процессов, а в экономике это связано с самоорганизацией при активном участии человека. И экономическая, и экологическая системы для поддержания и расширения жизненных функций потребляют энергию, поэтому для объединения природного и экономического производства,

потребления и накопления капитала можно использовать концепцию производства энтропии.

Поведение эколого-экономической системы, которая представляет собой открытую неравновесную сложную систему, действующую в условиях ограниченности ресурсов, очень сложно моделировать. В связи с этим весьма перспективным и интересным при анализе эколого-экономических систем представляется использование принципа максимума производства энтропии (МПЭ), который утверждает, что в состоянии равновесия открытые нелинейные системы ведут себя таким образом, что производится максимальное количество энтропии. Принцип МПЭ является перенесением второго начала термодинамики на неравновесные процессы и имеет происхождение, связанное с максимизацией числа возможных траекторий неравновесной системы в фазовом пространстве [1, с. 29].

Принцип МПЭ позволяет оценить макросостояние глобальной экосистемы, частью которой является экономическая система. С этой точки зрения, скорость производства энтропии, зависящая как от деятельности человека, так и от реакции окружающей среды, может служить основой для новой системы национальных счетов [1, с. 90].

Если интерпретировать с точки зрения принципа МПЭ понятие устойчивого развития, то оно будет соответствовать социально допустимой скорости производства энтропии. В рамках такого подхода границы производства/потребления должны согласоваться с термодинамическими уравнениями превращения низкоэнтропийных ресурсов в высокоэнтропийную продукцию. При этом существует опасность энтропийной ловушки, при которой экономическая система расширяется в той же степени, в которой сокращается экологическая система за счет неравенства между стоимостью консервации (экологическая цена) и рыночной стоимостью (экономическая цена) в транзакционных матрицах экологических и экономических систем.

Стандартные показатели национального дохода, такие как валовый национальный продукт (ВНП) и валовый внутренний продукт (ВВП) не в состоянии охватить социальные и экологические факторы. Они могут создавать и искажать картину национального благосостояния, так как не учитывают проблемы окружающей среды. Такие показатели не содержат данных о стоимости товаров и услуг, связанных с природными ресурсами, что вносит серьезные искажения в отражение реальной ситуации. Наиболее известные из них – «аномалия продуктивности» и «асимметрия вводимых факторов». Угроза природным системам исходит от множества накапливающихся локальных воздействий человека. В свою очередь их защита и сохранение требуют понимания прямых и косвенных последствий

антропогенной деятельности за длительные периоды времени и на больших территориях.

Для учета энтропийного фактора в СНС предлагается ввести индекс относительной энтропийной устойчивости (RES), который призван отразить энтропийную устойчивость и относительное благополучие региона с эколого-экономической точки зрения. Этот индекс являлся бы безразмерным коэффициентом, учитывающим как долю производимого *i*-м регионом или страной ВВП по отношению к национальному или глобальному ВВП, так и относительную долю произведенной при этом энтропии, оцененную по выбросам/стокам антропогенного углекислого газа [2, с. 357].

В рамках данной работы был произведен расчет индекса RES для отдельных административных районов Санкт-Петербурга. Интегрированный характер данного показателя может дать исчерпывающую картину экономической и экологической деятельности внутри границ системы. Кроме расчета RES также проведен сравнительный компьютерный анализ эколого-экономического состояния этих районов с применением ГИС, которые объединяют в себе все более растущие мощности, графические возможности и быстрое действие вычислительных систем и самой информатики. Именно ГИС позволяют решить задачи и материализовать схемы взаимосвязей между различными факторами. Один из главных доводов в пользу применения ГИС при решении данной задачи является то, что ГИС позволяет пользователю не только наглядно увидеть пространственную взаимосвязь явлений, их пространственные и временные отношения, но и активно работать с такой системой в диалоговом режиме [3, с. 21].

Как уже отмечалось выше, всякая деятельность, в том числе и экономическая, возможна лишь при потреблении энергии. Во всех процессах, связанных с потреблением энергии, происходит ее превращение из одной формы в другие. Примером превращения энергии является сжигание ископаемого топлива, при котором химическая энергия связей между атомами превращается в тепловую. Часть этой тепловой энергии используется для совершения работы. Конечным результатом этого процесса является полное исчезновение топлива (кроме остатков в виде пепла и сажи) и его превращение в газообразную форму, главным образом в CO₂ и водяной пар. С другой стороны, операция сжигания топлива с целью получения энергии является процессом превращения низкоэнтропийного ресурса в высокоэнтропийные отходы, т. е. процессом производства энтропии. Чем больше используется энергии для экономической деятельности в экологической системе, тем больше выбрасывается углекислого газа и тем больше, хотя и не в простой линейной зависимости, производится энтропии в системе. Таким образом, объемы антропогенных выбросов

углекислого газа в атмосферу могут служить косвенным показателем объема произведенной энтропии.

К тому же, именно углекислому газу экологи отводят роль главного фактора в парниковом эффекте. За последние 200 лет содержание углекислого газа в атмосфере увеличилось, по разным оценкам, от 30% до 50%. Несмотря на то, что половина выбросов CO₂, обусловленных деятельностью человека (главным образом, при сжигании угля, нефти и природного газа), поглощается океанами и земной растительностью, уровень его концентрации в атмосфере продолжает подниматься более, чем на 10% каждые 20 лет [4].

Несмотря на спорность многих положений о роли антропогенного углекислого газа во всемирном потеплении, с середины 1990-х годов в Европе все выбросы в атмосферу углекислого газа стали облагать обременительным «налогом на изменение климата». С целью осуществления учета и контроля за выбросами CO₂ был принят ряд международных соглашений, как например, Конвенция ООН по климату (1992 г.), Киотский протокол (1997 г.), в соответствии с которым при действующих в настоящее время углеродных биржах и торговле квотами появилась возможность выражения объемов антропогенных выбросов углекислого газа в денежной форме. Именно это условие стало еще одним преимуществом использования объемов антропогенных выбросов углекислого газа в качестве меры производства энтропии.

В настоящее время объемы антропогенных выбросов могут выделяться на фоне природного сигнала и измеряться в реальном времени. Так, в Санкт-Петербурге действует автоматизированная система мониторинга атмосферного воздуха (АСМ), предназначенная для обеспечения потребностей органов государственной власти, органов местного самоуправления, организаций и населения города информацией о состоянии атмосферного воздуха.

Таким образом, в основу расчета индекса RES легла информация об уровне концентрации CO₂ в районах расположения автоматизированных станций АСМ на территории Санкт-Петербурга, предоставленная Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга.

Концентрация CO₂ на территории большинства районов города в 2006 г. находится в интервале 0,69-1,57 мг/м³. К 2007 г. ситуация в некоторых районах незначительно ухудшилась, как например, в Центральном и Красногвардейском, причиной чему мог быть рост промышленного производства на территории данных районов, а так же увеличение количества автомобилей, т.к. автотранспорт оказывает

значительное негативное воздействие на состояние атмосферного воздуха.

Отметим однако, что в большинстве районов уровень производства энтропии, характеризуемый среднегодовой концентрацией CO₂, имел тенденцию к снижению. С этой точки зрения более благоприятная обстановка сложилась в Адмиралтейском, Колпинском, Пушкинском, Василеостровском, и других районах города. Наиболее ощутимый прогресс наблюдался в отношении Фрунзенского района, на территории которого концентрация CO₂ снизилась до 1,14 мг/м³ в 2007 г. по сравнению с уровнем 2006 г. в 8,43 мг/м³.

Столь высокое значение концентрации CO₂ в 2006 г. можно объяснить лишь тем, что уровень загрязнения атмосферного воздуха для оперативных автоматических наблюдений определяется по максимальному значению концентрации (то есть по худшему за период показателю). Таким образом, автоматическая станция №9, расположенная во Фрунзенском районе, могла несколько раз в течение года зафиксировать повышенную разовую концентрацию оксида углерода.

Несмотря на продолжающееся расширение промышленного производства на территории Санкт-Петербурга в 2008 г. и увеличение объема выбросов загрязняющих веществ, при анализе информации о среднегодовой концентрации CO₂ отмечается снижение ее общего уровня. Верхняя граница этого показателя по всем рассматриваемым районам не превышает теперь 1 мг/м³.

Можно предположить, что данная положительная динамика является следствием успешно проводимых мероприятий по охране воздуха, имеющих место благодаря достаточному и своевременному финансированию из всех источников, в том числе собственных средств предприятий. Так, например, только в январе-сентябре 2008 г. на природоохранные мероприятия крупными и средними организациями Санкт-Петербурга было использовано 4974 млн.руб. инвестиций. На результате также могло сказаться внедрение промышленными предприятиями города различных очистных сооружений. Помимо этого немалую роль могло сыграть соблюдение природоохранного законодательства, в соответствии с которым всем промышленным предприятиям, имеющим стационарные и нестационарные источники загрязнения атмосферы, необходимо разрабатывать проекты предельно допустимых выбросов (ПДВ) и выполнять их рекомендации по охране атмосферного воздуха, получать разрешение на выбросы и не превышать их. Более рациональное использование энергии и отделение (секвестирование) двуоксида углерода на электростанциях также могло служить снижению энтропии.

Уменьшение концентрации CO_2 отдельных районов за рассматриваемый период привело к снижению суммарной среднегодовой концентрации CO_2 в целом по Санкт-Петербургу, значения которой используются при расчете индекса относительной энтропийной устойчивости. Можно заметить, что это значение уменьшилось с 2006 до 2008 г. практически в 2 раза, что и отражено на рисунке 1.

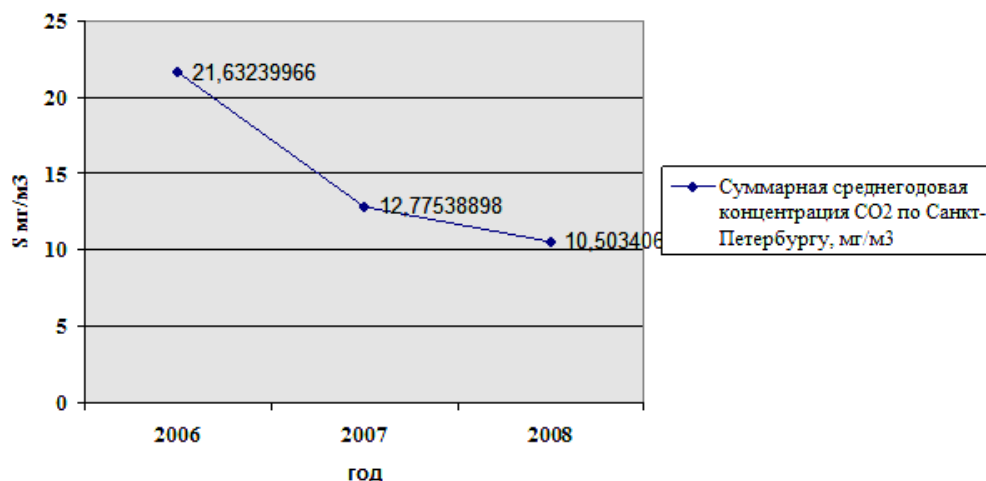


Рис. 1 – Динамика изменения суммарной среднегодовой концентрации CO_2 по Санкт-Петербургу за 2006-2008 гг.

Для обнаружения пространственных связей и закономерностей между рассматриваемыми объектами, в роли которых в данном случае выступают отдельные районы города, а также для облегчения зрительного восприятия, удобно использовать картографические изображения, содержащие визуальные подсказки о свойствах географических элементов.

В ходе выполнения данной работы активно использовались ГИС ArcView версии 3.2. С помощью данного программного продукта были обработаны полученные данные о концентрациях CO_2 , результаты чего представлены в картографическом виде, например, рисунок 2 демонстрирует среднегодовую концентрацию CO_2 в административных районах Санкт-Петербурга в 2008 году.

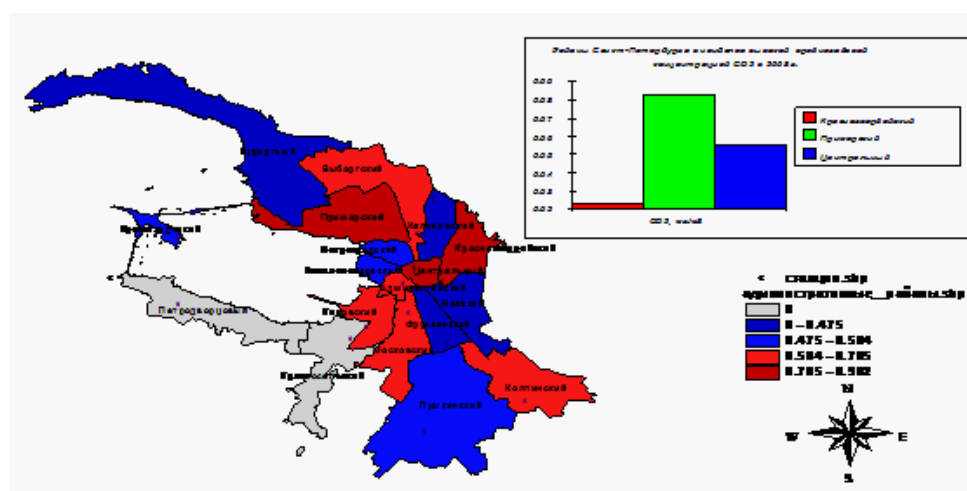


Рис. 2 – Среднегодовая концентрацию CO₂ в административных районах Санкт-Петербурга в 2008 году.

Отнесение района к той или иной группе согласно выбранному интервалу распределения концентрации CO₂ можно объяснить в большей степени размещением производств по территории города, численностью промышленных предприятий в той или иной его части. При этом не стоит забывать о значительной доле выбросов CO₂ автомобильным транспортом, т.к. этот источник загрязнения может существенно скорректировать полученную ранее схему распределения CO₂, учитывающую только стационарные источники.

Аналогично, с использованием ГИС ArcView 3.2, были проанализированы данные о валовом региональном продукте (ВРП) Санкт-Петербурга и о вкладе каждого района в эту величин, на основе чего также были построены соответствующие компоновки. Необходимость проведения такого анализа объясняется тем, что помимо концентрации CO₂, позволяющей определить производство энтропии, при расчете индекса относительной энтропийной устойчивости используются также данные о валовом внутреннем продукте (ВВП).

Однако, в связи с тем, что данные показатели применяются на национальном уровне, в нашем случае при расчете индекса для отдельных районов города вместо них использовались их «эквиваленты», а именно валовой региональный продукт (ВРП) Санкт-Петербурга за 2006-2008 гг., полученный по данным Петростата, и валовой муниципальный или валовой территориальный продукт (ВТП) каждого района города [5, С.2].

Если валовой региональный продукт является аналогом ВВП на региональном уровне, то на уровне муниципальных образований таким показателем выступает валовой территориальный продукт. При расчете ВТП по муниципальным районам и городским округам

применяется те же методологические принципы, что и при расчете ВРП.

Практика расчета ВТП была разработана и апробирована территориальным органом госстатистики Республики Коми на основе методических рекомендаций Росстата. Полученный там опыт убедительно показал большое общегосударственное значение ВТП и целесообразность его принятия в качестве обобщающего показателя социально-экономического развития муниципального образования. Таким образом, ВРП и ВТП выступают в роли эффективного инструмента для анализа и прогнозирования развития экономики территорий, существенно повышают обоснованность оперативных и стратегических управленческих решений, поэтому востребованность информации о ВРП и ВТП очень высока.

При существующей организации расчетов, когда распределить ВВП по территориям Российской Федерации полностью невозможно, расчет валового регионального продукта носит оценочный характер. Аналогично, оценочный характер имеет и ВТП, который рассчитывается в данном случае для отдельных административных районов Санкт-Петербурга. При этом, практика показывает, что чем меньше регион, тем больше погрешности в расчетах, что во многом обусловлено проблемами информационного обеспечения.

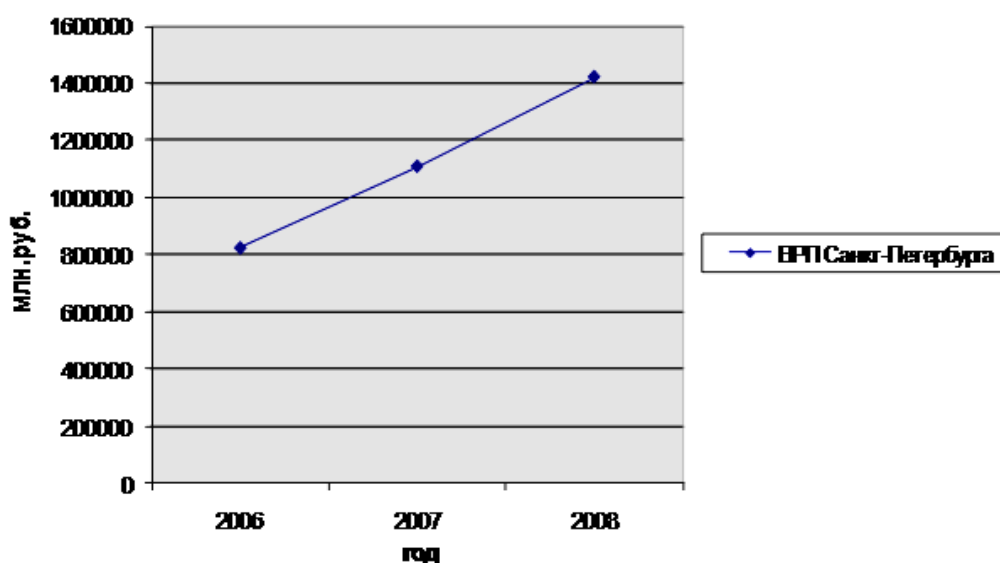
Рассчитанный в данной работе валовый территориальный продукт отражает в денежном эквиваленте суммарное производство всех товаров и услуг в каждом отдельном районе города, т. е. является неким показателем производительности труда населения.

По данным Петростата ВРП Санкт-Петербурга в 2006 г. составил 825102,30 млн. руб. Анализ территориальной структуры ВТП выявил, что из 18 административных районов Санкт-Петербурга наибольший вклад в суммарный ВРП города в 2006 г. внесли 3 района – Центральный, Адмиралтейский и Выборгский. Эти районы характеризуются высоким уровнем экономического развития, на их долю приходится соответственно порядка 13 %, 11 % и 10 % от общего ВРП. Именно эти районы образуют так называемую «тройку лидеров», причем такая ситуация сохраняется в течение всего рассматриваемого периода, несмотря на незначительное сокращение доли этих районов в общем ВРП к 2008 г. соответственно до 12,7 %, 9 %, 9%.

Если Адмиралтейский, Выборгский и Центральный районы можно назвать высокоразвитыми с точки зрения объемов производства и оказанных услуг, то в противоположность им, такие районы Санкт-Петербурга как Петродворцовый, Курортный и Кронштадтский можно объединить в слаборазвитую группу в связи с тем, что на каждый из них приходится менее 1 % от ВРП города. Аналогично первому случаю, сложившаяся тенденция сохраняется как в 2007, так и в 2008 гг.

В течение анализируемого периода ВРП Санкт-Петербурга имеет устойчивую тенденцию роста, так к 2007 г. он увеличился на 284195,1 млн.руб. по сравнению с 2006 г. и составил 1109297,4 млн.руб., в 2008 г. его величина 1420830,20 млн. руб., что наглядно видно на рисунке 3. Динамика ВРП в реальном исчислении – важнейший индикатор экономического развития региона, характеризующий темпы его экономического роста.

Для того чтобы одновременно учесть экономические возможности и экологический потенциал территории, т.е. определить эколого-экономическое макро-состояние региона необходимо рассчитать индекс RES.



Р и с . 3 – Динамика ВРП Санкт-Петербурга в 2006-2008 гг.

Расчет индекса осуществляется по следующей формуле:

$$RES_i = \left(\frac{ВТП_i}{\sum ВТП_i} \right) : \left(\frac{\Delta S_i}{\sum \Delta S_i} \right), \text{ где}$$

RES_i – индекс относительной энтропийной устойчивости;
 $ВТП_i$ – валовый территориальный продукт i -го административного района Санкт-Петербурга, млн. руб.;

$\sum ВТП_i$ – валовый территориальный продукт Санкт-Петербурга (ВРП), млн.руб.;

ΔS_i – относительная доля произведенной энтропии, оцененная по выбросам CO_2 , i -го административного района Санкт-Петербурга, mg/m^3 ;

$\sum \Delta S_i$ – относительная доля произведенной энтропии, оцененная по выбросам CO_2 , города Санкт-Петербурга, mg/m^3 [2, с.358].

Очевидно, что чем выше значение индекса по сравнению с единицей, тем более относительно устойчивым с энтропийной точки зрения является эколого-экономическое макро-состояние данного района, тем менее ущербной для состояния окружающей среды и природного капитала является экономическая деятельность в нем.

И, наоборот, чем меньше единицы, тем менее энтропийно устойчивым является макро-состояние *i*-го региона, что свидетельствует о значительной экологической стоимости экономических результатов.

В 2006 г. 6 районов Санкт-Петербурга имеют значение данного индекса больше единицы. Т.е. можно сказать, что состояние Адмиралтейского, Василеостровского, Выборгского, Кировского, Московского и Центрального районов относительно благополучное с эколого-экономической точки зрения.

Наиболее благоприятная ситуация, согласно рассчитанному показателю, сложилась в Адмиралтейском районе, где $RES=3,37$. Из всех районов города именно в Адмиралтейском согласно концентрации CO_2 самый низкий уровень производства энтропии, а по значению ВТП он находится на втором месте. Поэтому можно предположить, что в структуре ВТП преобладает производство услуг, увеличивающее ВТП и не оказывающее столь негативное воздействие на окружающую среду как промышленное производство. Таким образом, экономическая и экологическая составляющие здесь наиболее сбалансированы по сравнению с другими районами города и эколого-экономическое состояние наиболее устойчиво.

У самого чистого района, Курортного, значение RES одно из самых маленьких, всего 0,24. Понятно, что слабое развитие промышленного производства здесь, способствует не только низкому уровню производства энтропии по сравнению с другими районами, но также и низкому доходу, что и подтверждается относительно небольшим значением ВТП. Можно сказать, что в деятельности Курортного района ударение сделано на экологическую составляющую, осуществление здесь экономической деятельности будет сопряжено с высокой экологической стоимостью результатов.

К 2008 г. число районов, имеющих относительно устойчивое эколого-экономическое макро-состояние с энтропийной точки зрения, существенно увеличилось. Теперь сюда можно отнести такие районы, как Адмиралтейский, Василеостровский, Выборгский, Калининский, Кировский, Московский, Центральный, Фрунзенский, Невский. При этом у большинства тех районов, которые были благополучны с точки зрения RES до 2008 г., этот показатель снизился.

Повышение уровня производства энтропии в Адмиралтейском районе и одновременное снижение доли ВТП района в ВТР города привело к значительному снижению RES в 2008 г. Возможно, данная

ситуация аналогична сложившейся в 2007 г. на территории Центрального района и обусловлена в большей степени негативным воздействием на окружающую среду не со стороны производств, а со стороны других источников загрязнения. Несмотря на это, эколого-экономическое состояние Адмиралтейского района продолжает оставаться устойчивым и весьма благополучным по сравнению с другими районами города, хотя теперь по показателю RES он занимает лишь второе место.

На первое место по эколого-экономическому благосостоянию в 2008 г., как видно из рисунка 4, выходит Калининский район, имеющий достаточно высокое значение ВТП, при доле производства энтропии, приходящейся на него, всего порядка 4 %. В связи с тем, что автоматизированная станция АСМ появилась здесь только в 2008 г., нет возможности судить об эколого-экономическом состоянии этого района в предшествующие периоды. Также не было данных ранее и по Невскому району, однако на 2008 г. можно говорить о его состоянии как об устойчивом.

Подводя итоги, отметим, что определить однозначную зависимость RES в большей степени от экологической или от экономической составляющей невозможно. Это две стороны одной медали, между которыми установилась настолько тонкая грань, что незначительное изменение одной из составляющих может повлечь за собой существенные изменения эколого-экономического состояния всего региона в целом, привести к острой необходимости корректировки экономической или природоохранной политики.

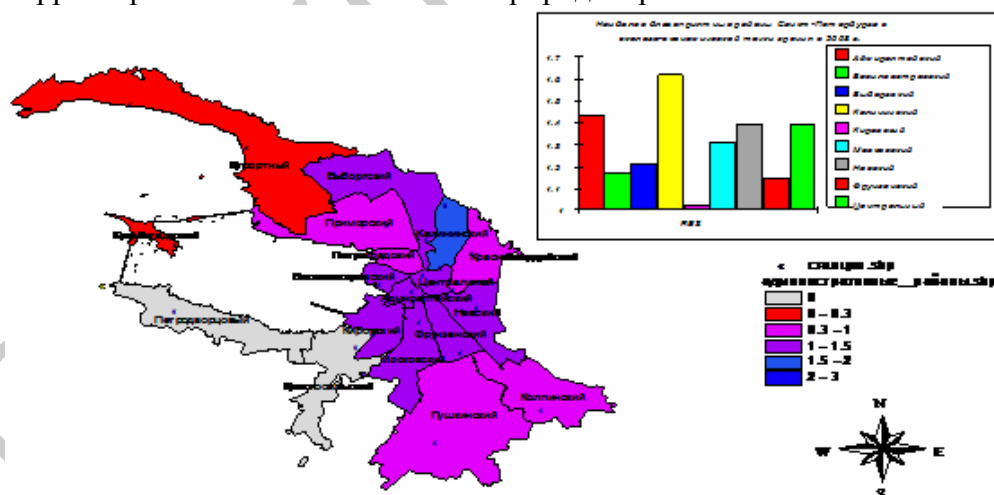


Рис. 4 – Индекс RES административных районов Санкт-Петербурга, 2008 г.

Так в целом по Санкт-Петербургу за анализируемый период наблюдается стабильный рост ВТП отдельных районов и

соответственно ВРП города в целом и снижение суммарной концентрации CO₂. Количество районов, устойчивых с энтропийной точки зрения увеличилось, однако сказать об однозначном улучшении ситуации в городе было бы не правильно.

Проведенный анализ доказал, что использование чисто экономических показателей, таких как ВТП, может создавать иллюзию благополучия из-за стабильного роста, поскольку рост во многом происходил за счет невозобновляемых природных ресурсов, уменьшения природного капитала и высоких темпов производства энтропии. Это опровергается показателем относительной энтропийной устойчивости, что дает сигналы о необходимости серьезного пересмотра экономической или природоохранной политики на региональном уровне с целью обеспечения устойчивого эколого-экономического состояния.

Таким образом, еще раз подтверждается вывод о том, что во избежание энтропийной ловушки, необходимо изменить традиционную экономическую политику максимизации роста ВВП на политику минимизации скорости производства энтропии, добиваясь повышения значения индикатора.

1. Сердитова. Н.Е., А.В. Белоцерковский. Моделирование сложных эколого-экономических систем и принцип максимума производства энтропии. – СПб.: РГГМУ. – 2008. – С.90-101.

2. Сердитова Н.Е. Экономика природопользования: эколого-экономическая перспектива: Учеб. пособие – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2009. – С.297-360 .

3. Орлов В.Ю. Основные понятия и применение геоинформационных систем в природоохранной деятельности: Учеб. пособие по курсу "Геоинформационные системы" для студентов фак. биологии и экологии. - Ярославль: РИО Яросл. гос. ун-та. - 2003. – С.16-78.

4. IPCC [- Intergovernmental Panel on Climate Change](http://www.ipcc.ch/index.htm). Источник в интернете <http://www.ipcc.ch/index.htm>

5. Колечков Д.В. Валовой муниципальный продукт в оценке пространственного развития экономики региона // Сессия Общего собрания ИСЭиЭПС КНЦ УрО РАН. Сыктывкар, 15 февраля 2008.

Об авторах:

СЕРДИТОВА Наталья Евгеньевна – доцент кафедры экономики и управления производством Тверского государственного университета, e-mail:

КОНОКОТОВА Елена Валерьевна – соискатель по кафедре экономики предприятия и учетных систем Российского государственного гидрометеорологического университета, e-mail: