УДК: 339.92:621.31

Игумнов Павел Валерьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры мировой экономики и коммерции ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (г. Хабаровск). *E-mail:upd@festu.khv.ru*

Pavel Valer'evich Igumnov – Candidate of technical sciences, docent of the world economy and commerce chair of FGBOU VPO "The Far-Eastern state university of transport communications" (Khabarovsk). *E-mail:upd@festu.khv.ru*

P.V. Igumnov

Basic principles of the analysis of the energy complex of the regions of the world and of the countries, entering the separate regions using the theory of clusters and the method of the self-organizing maps (SOM)

The basic principles of analysis of the energy complex of the regions of the world, some countries with the theory of clustering and the method of self-organizing maps (SOM) are described in the article. The main stages of realization of the method of SOM, allowing to make the typology of objects – as the world's regions so across the countries, within the individual regions, based on the structural variables that reflect the energy complex quality of the object.

Keywords: regional typology, theory of clusters, method of self-organizing maps SOM, global energy industry.

Основные принципы анализа энергетического комплекса с применением теории кластеров и автоматического метода карт кластеризации

Рассмотрены основные принципы анализа энергетического комплекса регионов мира, отдельных стран с применением теории кластеризации и метода самоорганизующихся карт **(далее –** SOM). Представлены основные этапы реализации метода SOM, позволяющие построить типологии объектов как по регионам мира, так и по странам, входящим в отдельные регионы, на основе структурных переменных, отражающих свойство энергетического комплекса исследуемого объекта.

Ключевые слова: региональная типология, теории кластеров, метод самоорганизующихся карт SOM, мировой энергетический комплекс.

Использование энергии неразрывно связано с человеческой историей. Так, постепенно, с развитием индустриализации человечества энергетические ресурсы стали важнейшими невозобновляемыми источниками энергии, без которых

дальнейшее развитие становится просто невозможным. Это приводит к тому, что стабильная экономическая деятельность большинства стран и регионов мира напрямую зависит от их обеспеченности энергетическими ресурсами за счет своих внутренних запасов или за счет импортных поставок энергетических ресурсов из других стран и регионов.

В настоящее время бурное экономические развитие Азиатско-Тихоокеанского региона привело к тому, что такие развивающиеся страны, как Китай, Индия и другие страны региона, которые раньше обеспечивали рост своих экономик за счет собственных энергетических ресурсов, становятся одними из крупнейших импортеров энергетических ресурсов на мировом энергетическом рынке. Необходимость обеспечения своих растущих экономик всевозрастающими потребностями в энергии требует от них поиска надежных поставщиков энергетических ресурсов, тем самым внося изменения в уже сложившийся мировой энергетический баланс.

В этих условиях вопросы, связанные с углубленным анализом энергетических ресурсов и энергетического сектора экономики отдельных стран и регионов, приобретают особое значение. В связи с этим, для проведения анализа энергетического комплекса стран и регионов мира предлагается использовать теорию кластеров и метод самоорганизующихся карт, в основе которого лежит нейронно-сетевая парадигма – самоорганизующиеся карты Кохонена. Данный метод уже успешно использовался для анализа мировых лесных ресурсов, представленных совокупностью стран и территорий, на которых эти ресурсы локализованы [1]. Далее приводятся основные принципы анализа энергетического комплекса регионов мира и стран, входящих в отдельные регионы, с применением теории кластеров и метода самоорганизующихся карт.

Интернационализация и глобализация экономики приводят к определенной унификации национальных систем административно-территориального и экономического районирования, формированию транснациональных (или трансгосударственных) регионов. Этот процесс наибольшее развитие получил в рамках Европейского союза (далее – ЕС).

Само понятие «регион» применяется также к международным сообществам и регионам мира. Некоторые из них имеют наднациональные институты координации и (или) управления, например: регион ЕС, Азиатско-Тихоокеанский регион, Северо-Американская ассоциация свободной торговли. Развитие регионов мира как интегрирующихся экономик на основе либерализации национальных рынков товаров, труда, капитала, информации стимулирует развитие отношений между национальными регионами и формирование транснациональных регионов. Любой регион (за исключением мира в целом) является элементом некоторой иерархической системы регионов. Первичным элементом системы является предельно малый регион (теоретически это географическая точка).

На рисунке 1 показана иерархия системы регионов на примере российских регионов и России как региона мировой системы [2]. Очевидно, что подобную иерархию можно построить для любой страны, разумеется, с учетом ее специфики.



Рис. 1. Регионы России в иерархической мировой структуре

Таким образом, в мире существует множество регионально-государственных иерархий, но, поскольку в большинстве стран (за исключением предельно централизованных и тоталитарных) регионы являются открытыми системами и могут контактировать с другими регионами не только внутри страны (по иерархической вертикали и по горизонтали), то выстраивается система горизонтальных и горизонтально-вертикальных взаимодействий между регионами разных стран. Применительно к России мы имеем уже множество примеров международного сотрудничества городов-побратимов, регионов одного ранга (например, области Российской Федерации и земли ФРГ) и даже региона субъекта Федерации и другого государства, например, Белоруссии или Казахстана.

В основе экономической интеграции лежит взаимная заинтересованность субъектов рынка. Неверно представление, что регионы стремятся к автаркии – выживанию в одиночку, и только центр, и некоторые сознательные регионы заботятся о сохранении экономической целостности страны. На самом деле в нормальной экономической среде ни одному региону обособленность невыгодна, каждый из них заинтересован в широком рынке. Синдром обособления возникает только при макроэкономических и политических аномалиях. Следует лишь уточнить, что для некоторых регионов более эффективными могут оказаться экономические связи не с другими российскими регионами, а с партнерами из других стран. Поскольку основными субъектами межрегиональных экономических отношений стали предприятия, то функции региональных администраций все более ограничиваются созданием благоприятных условий для межрегиональных экономических связей.

В связи с тем, что экономическое районирование является одной из важных основ территориальной организации хозяйства страны, оно должно проводиться на основе научной методологии и содействовать совершенствованию территориального разделения труда, эффективности национального рынка. В настоящее время территория России разделена на 11 экономических районов [3]. Каждый экономический район включает в себя определенные субъекты Федерации по принципу смежности, т. е. «… группировки нескольких

соседствующих друг с другом субъектов Федерации, которые отличаются от других особенностями исторического развития территории, географическим положением, природными и трудовыми ресурсами, специализацией хозяйства». Вне экономических районов находится только Калининградская область. Регионы данного типа являются объектами статического наблюдения, экономического анализа, прогнозирования и частичного государственного регулирования, в основном, в форме координации [4].

Роль экономических районов несколько усилилась благодаря образованию (по инициативе субъектов федерации) межрегиональных ассоциаций экономического взаимодействия (далее – МАЭВ). В настоящее время на территории России функционируют девять ассоциаций экономического взаимодействия [3]. Территории ассоциаций в значительной степени совпадают с территориями 11 экономических районов России. Эти ассоциации объединяют интересы входящих в них регионов в экономических отношениях с федеральным центром.

Задача построения типологии является классической для таких совокупностей, как страны или регионы. Согласно общепринятому определению, под типологией понимается научный метод, основа которого – расчленение систем объектов и их группировка с помощью обобщенной модели или типа; используется в целях сравнительного изучения существенных признаков, связей, функций, отношений, уровней организации объектов. Иногда термин «типология» используется не только как метод, процедура группировки объектов по принципу схожести, типичности, но и как результат этого метода, то есть описание групп или типов объектов. Существует и более узкое определение типологии, под которой понимается согласованность двух группировок одной и той же совокупности объектов по их переменным состояниям, с одной стороны, и поведенческим переменным – с другой, фактически означающее, что объекты, находящиеся в схожих состояниях, должны иметь схожие поведения.

Применительно к рассматриваемой проблеме (анализ энергетического комплекса регионов мира и отдельных стран, входящих в региональные мировые группы) построение типологии стран (в узком смысле) может означать, что страны, имеющие схожие параметры нефтегазовых, угольных ресурсов и потенциалы, для их эффективного использования должны показывать схожие экономические результаты и выгоды от их применения. Практическая целесообразность построения региональных типологий состоит в том, чтобы при разработке программ и проектов совершенствования и развития регионов не приходилось бы разрабатывать уникальных проектов под каждый отдельный объект инвестирования, а предлагать сразу комплексные групповые решения в рамках исследуемого региона.

Более того, полезность типологии (в узком смысле) еще более очевидна из-за ее прогностических возможностей. Достаточно построить группировки объектов по их состояниям, тогда с большой долей вероятности можно ожидать, что объекты из одной и той же стратегической группы поведут себя аналогичным образом. Это своеобразный метод исторических аналогий: страны, находящиеся в одинаковых социально-экономических условиях (даже в разное историческое

время), с большой вероятностью будут развиваться по примерно схожим сценариям. Например, следует ожидать, что страны, имеющие почти идентичные параметры энергетических ресурсов, одинаковую политику в сфере энергетики и примерно равный экономический потенциал, имеют высокие шансы показать схожие пути развития нефтегазовой, угольной и других отраслей энергетического комплекса.

Однако построение таких типологий – всегда трудная научная задача, успешность решения которой зависит от правильного выбора переменных состояния и переменных поведения объекта. Для решения задачи построения типологий стран и регионов в области (в широком и узком смыслах слова) можно использовать теорию кластеров и метод SOM [5].

При формировании типологии всегда рассматривается некоторое множество объектов, заданных набором своих характеристик, которые в зависимости от контекста называют параметрами, признаками, симптомами, факторами и т. п. Эти характеристики могут быть количественными или качественными переменными, например, количество и качество нефтяных, газовых и угольных запасов, динамика добычи и потребления этих ресурсов, развитие альтернативных источников энергии на данной территории. Однако в любом случае все такие переменные с помощью специальных преобразований могут быть масштабированы особым образом, чтобы представить рассматриваемые объекты в виде точек на некотором метрическом пространстве, между которыми можно измерить расстояние.

Для исследования мирового энергетического комплекса объектами построения типологий являются как отдельные регионы мира, так и отдельные страны, а в роли переменных или характеристик выступают параметры энергетических ресурсов, принадлежащих этим регионам или странам. Параметры, выступающие в роли переменных, доступны в общепринятых источниках статистической информации. Их насчитывается около 40, и они могут подразделяться на следующие группы: энергопотребление на душу населения за отчетный год; динамика энергопотребления на душу населения за последние десять лет; размеры нефтегазовых запасов; размеры угольных запасов; использование атомной энергии; использование альтернативных источников энергии; использование биологического топлива; использование возобновляемых источников энергии; характерные типы нефтяных залежей для данной территории; характерные типы газовых залежей для данной территории; изменение оценки нефтегазовых запасов за последние десять лет; характерные типы угольных залежей для данной территории; объем инвестиций в энергетический комплекс за отчетный год; динамика инвестиций в энергетический комплекс за последние десять лет; сальдо торговли нефтью, газом и электроэнергией за отчетный год.

Как видно из описаний групп переменных, основная характеристика, отражающая свойство энергетических ресурсов, является качественной переменной, например, тип залежей, сорт нефти, запасы нефти, газа, потенциал возобновляемой энергетики и т. п. Каждое значение такой качественной переменной трансформируется в количественную переменную, равную величине соответствующего энергетического ресурса данного уровня качества в данной

стране, выраженного в соответствующей единице измерения (барелль, куб. м, $, чел.) или в виде процента доли присутствия. Назовем такие переменные структурными. Кроме структурных переменных, имеются переменные развития, отражающие динамику определенного оценочного показателя за определенный период, обычно за десятилетие.

Разделение представленных выше переменных на структурные и на динамические полезно для интерпретации результатов построенных типологий. Типология, сформированная на основе структурных переменных, отражает группировки стран со схожими свойствами энергетических ресурсов, например, страны из одной стратегической группы имеют энергетический ресурс с определенными характеристиками. Типология, построенная на переменных развития, группирует страны по кривым динамики роста/падения, что крайне важно для выявления ключевых тенденций развития энергетической отрасли.

Для построения типологии объектов, сформированной на основе структурных переменных, отражающих свойство энергетического комплекса регионов мира и отдельных стран, входящих в эти регионы, воспользуемся методом SOM. В основе метода лежит нейронно-сетевая парадигма – самоорганизующиеся карты Кохонена [6].

Приведем лишь в самых общих чертах схему применения метода SOM, разбитую на три крупных этапа.

Этап 1. Выбор параметров метода. Метод SOM имеет широкий спектр параметров, значения которых необходимо выбрать и зафиксировать перед запуском алгоритма построения карт. Такой множественный выбор предполагает:

- выбор показателей для построения основных и ассоциированных карт;
- выбор весовых коэффициентов для основных показателей;
- выбор методов предпроцессинга данных;
- выбор параметров алгоритма построения карт.

Все множество показателей, через которые характеризуются изучаемые объекты, разделяется на два подмножества: набор для построения основных карт (далее – основные показатели) и набор для построения ассоциированных карт (далее – ассоциированные показатели). Существует множество способов такого разбиения, но руководящим принципом остается один и тот же: основные показатели – это переменные состояния объекта, ассоциированные показатели – переменные поведения объекта. В большинстве случаев, когда в качестве изучаемых выступают социально-экономические объекты, переменными состояний являются ресурсные показатели, а поведенческими переменными – показатели экономического результата, выгоды, например, стоимость ресурсов или прибыль от их использования.

В методе SOM имеется возможность учесть важность показателей, их вклад в общий результат путем присвоения весового коэффициента каждому основному показателю. Алгоритм построения карт определенным образом учтет эти веса, что отразится на построенных кластерах и итоговой группировке объектов. Не очень значимые основные показатели (с малыми весовыми коэффициентами) практически не будут участвовать в процессе кластеризации, но соответствующие им карты показателей все же сформируются.

Обычной процедурой перед построением моделей является предпроцессинг, то есть приведение исходных данных к виду, удобному для моделирования. К таким процедурам относятся: нормирование, масштабирование, удаление выбросов и другие. Например, если значения некоторых показателей для разных объектов отличаются на порядки, что приводит к искаженному виду карты, то используется логарифмическое преобразование значений этих показателей, устраняющее такое различие и придающее картам показателей содержательный вид для последующего визуального анализа.

Выбор параметров алгоритма построения карт имеет определенное, но не решающее значение. Главным параметром, как уже отмечалось, является размер карты. При большом числе анализируемых объектов (десятки тысяч) число элементов (нейронов) обычно выбирается на порядок меньше анализируемого числа. Однако, если число объектов – десятки, сотни или 1 – 2 тысячи, то рекомендуется использовать число нейронов, равное числу объектов. Тогда каждый объект, как правило, будет располагаться в определенном месте на карте, и его всегда будет легко найти и изучить.

Этап 2. Построение и разметка карт. После того, как все значения параметров выбраны, запускается алгоритм построения карт, описанный в работе Гвидо Дебок, Тейво Кохонен “Анализ финансовых данных с помощью самоорганизующихся карт” Альпина, Москва, 2001. В результате работы алгоритма образуется ряд карт (описание типов карт приводилось ранее), в которых содержится визуализированная информация об исходном наборе многомерных объектов. Таким образом, информация об изучаемых объектах – странах, территориях, предприятиях – теперь представлена в двух видах: табличном и картированном. Идея картирования состоит в том, чтобы совместить оба источника информации и сформировать на основе построенных карт некое подобие когнитивной карты, на которую нанесены все знания об исследуемых объектах, необходимые для дальнейшей экономической интерпретации. Для такого совмещения необходимо выполнить следующие операции:

- разметку карт показателей;
- разметку карт кластеров;
- фильтрацию и статистику на картах;
- нанесение траекторий на карты.

Разметка карт показателей представляет собой визуальный анализ каждой карты показателей для выявления зон экстремальных значений (синий цвет – минимальные значения, красный цвет – максимальные значения) и нанесения на карту надписей. Возможна индикация и других зон, например, зон локализации определенных интересующих исследователя значений, с последующим нанесением соответствующих надписей или другой символики. Подобным образом могут быть размечены и карты ассоциированных показателей.

Разметка карт кластеров формируется отчасти автоматически, отчасти вручную. Автоматически на карту кластеров переносятся все метки с карт показателей, а также любые значения (как численные, так и символьные) из исходной таблицы данных совокупности объектов. Как правило, на карту из исходной таблицы переносятся оригинальные названия, номера (коды) объектов и

численные значения наиболее важных показателей. Вручную подписываются кластеры обычно кодами C1, C2, …, в порядке убывания их размера на карте.

Размеченные карты могут использоваться для процедуры фильтрации объектов из исходной базы данных по сложным поисковым критериям, задаваемым непосредственно по карте путем выделения интересующих областей карты. В результате, будут отфильтрованы только те объекты из таблицы, образы которых попали в выделенную область. Кроме этого, разметка кластеров позволяет рассчитать всевозможную кластерную статистику (число и состав объектов в кластере, среднее, дисперсию и т. п.), матрицу средних значений показателей по кластерам, что используется при описании кластеров. Полученные статистические данные могут быть нанесены на карту.

Если объекты в исходной таблице выстроить в определенном порядке, например, по дате наблюдений, то можно отобразить их на карте в виде траектории (ломаной линии), отражающей заданную последовательность объектов, если даты заранее нанесены на карту. Как правило, траектории удобно использовать в системах визуального мониторинга за объектами.

*Э**тап 3. Интерпретация кластеров.*** Под интерпретацией кластеров мы понимаем ряд описательных процедур, позволяющих дать содержательное объяснение полученным на карте кластерам, то есть охарактеризовать кластеры в терминах исходных показателей и в сопоставлении друг с другом. При интерпретации кластеров используется, в основном, сравнительный анализ. Типовая интерпретация кластеров, как правило, состоит из следующих моментов:

- локализации, оценки размера и состава кластеров;
- содержательного описания кластеров;
- формального задания кластеров.

Для каждого кластера указывается место его локализации на карте, (например, на юго-востоке), что при хорошей разметке карты сразу характеризует некоторые свойства кластера. Например, кластер, находящийся в центре карты, обычно имеет средние значения всех показателей, а по краям карты – экстремальные значения по одному или нескольким показателям. Размер и состав кластера (число объектов, попавших в кластер) устанавливается либо непосредственно визуально (при малом числе объектов), либо по кластерной статистике, или путем фильтрации по данному кластеру (при большом числе объектов).

Содержательное описание кластеров – это краткое описание кластеров в терминах, свойственных данному кластеру. Например, описание кластера C1 может заключаться в следующем: “Кластер C1 характеризуется наибольшими значениями показателя X и минимальными значениями показателя Y, а показатель Z в 3 раза меньше, чем средний показателей по всем кластерам. Остальные показатели находятся в зоне средних значений”. Когда кластер характеризуется экстремальными значениями только по одному показателю, его называют лидер/аутсайдер по показателю X. Например, на карте масштабов лесных ресурсов кластер C1, состоящий только из России, можно назвать лидером по территории, занимаемой хвойным лесом. Содержательное описание кластеров

осуществляется путем визуального анализа их разметки и анализа матрицы кластерных средних.

Формальное задание кластера представляет собой совокупность логических правил, задающих условия принадлежности объекта к данному кластеру. Такие логические правила обычно представлены в формате “ЕСЛИ {пороговые условия на показатели}, ТО {объект принадлежит данному кластеру}”. Формальные задания кластеров формируются сложным образом через построение классификационной модели обычно с помощью моделирования решений.

В заключение приведем для наглядности структурную диаграмму метода SOM (рис. 2) [5].

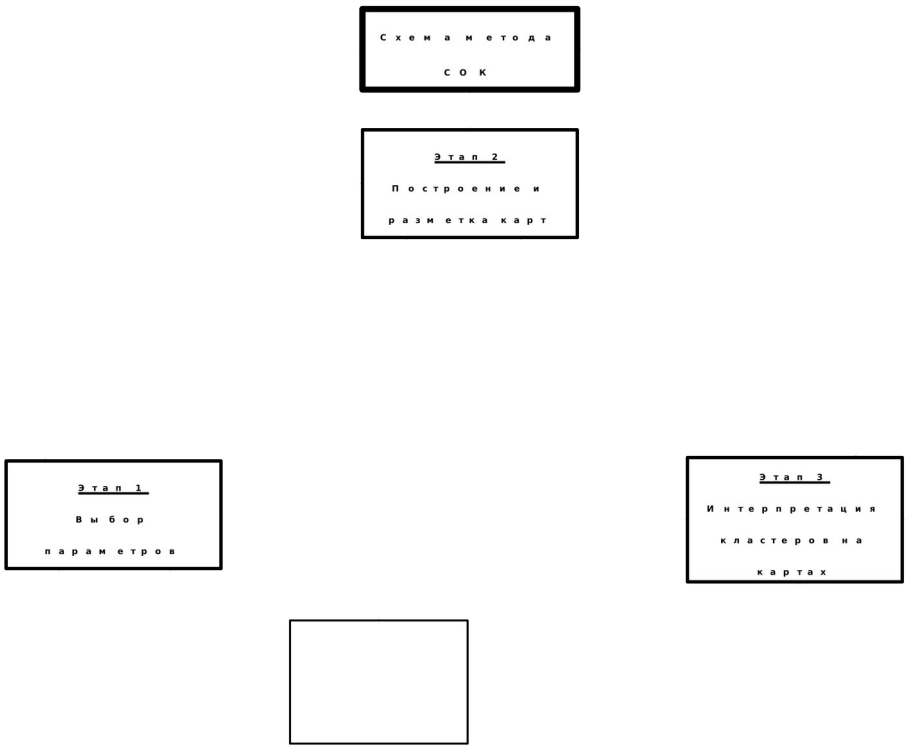


Рис. 2. Метод SOM, его этапы и процедуры

Представленные выше основные этапы реализации метода SOM позволяют построить типологии объектов как по регионам мира, так и по странам, входящим в отдельные регионы, на основе структурных переменных, отражающих свойство энергетического комплекса исследуемого объекта.

Литература и источники:

1. Прытков, А. Т. Лесопромышленный комплекс; Мировые тенденции и российская практика / А. Т. Прытков. – М. : Научная книга, 2006. – 480 с.

2. Мищенко, В. В. Экономика регионов : учебное пособие. – Барнаул : Издательство Алтайского государственного университета, 2002.

3. Министерство экономики Российской Федерации. Общероссийский классификатор экономических регионов ОК 024-95 [Электронный ресурс] –. –

Режим доступа: http://www.economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/classificators/oker02495

4. Сахарова, Л. А. Региональная экономика (Приморский край) / Л. А. Сахарова. – Владивосток : ТИДОТ ДВГУ, 2003.

5. Игумнов, П. В. Проблемы и перспективы развития нефтегазового сотрудничества в евразийском регионе на современном этапе : монография / П. В. Игумнов. – М. : Научная книга, 2011. – С. 242.

6. Дебок, Г. Анализ финансовых данных с помощью самоорганизующихся карт / Г. Дебок, Т. Кохонен. – М., 2001.