

# Компьютерная визуализация задачи алгоритмизации и программирования территориального деления на основе интерактивного картографирования

Ю.В. Дубровская<sup>1,A</sup>, Е.В. Козоногова<sup>2,B</sup>, Д.С. Курушин<sup>3,B</sup>

<sup>A</sup> Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук,  
Екатеринбург, Россия

<sup>B</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-3205-9264, [uliadubrov@mail.ru](mailto:uliadubrov@mail.ru)

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-9573-7336, [elena.kozonogova@gmail.com](mailto:elena.kozonogova@gmail.com)

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-4798-7423, [daniel@kurushin-perm.ru](mailto:daniel@kurushin-perm.ru)

## Аннотация

Важнейшим фактором эффективного управления пространственным развитием на национальном, макрорегиональном и региональном уровнях экономики является разделение территории на районы по какому-либо признаку. Применение на данной основе дефрагментированной политики позволяет повышать как качество государственного управления пространством, так и эффективность стратегического планирования. В настоящей работе на основе систематизации способов отражения результатов территориального деления представлена авторская методика визуализации задачи создания цифрового двойника сетки экономического районирования на основе интерактивного картографирования. В качестве методологического подхода использована концепция экономической сложности, в основе которой лежит понимание важности производства сложных продуктов, требующих широкого набора знаний и компетенций.

Основой визуализации экономического районирования является авторский математический алгоритм задачи территориального деления страны на макроэкономические регионы, составленный на основе теории графов и реализованный в программном обеспечении «Graphviz». Создание цифрового двойника сетки макрорегионов базируется на основе показателя «Среднесписочная численность работников по полному кругу организаций», по которому была сформирована единая база статистических данных для 83 регионов России за период с 2009-2019 гг. по 104 видам экономической деятельности. С помощью графа визуализируются наиболее сильные связи между отраслями экономики путем построения максимального остовного дерева на основе алгоритма Крускала. Вершинами графа связности отраслей являются виды деятельности согласно ОКВЭД, а ребрами – «расстояния» между ними.

Для автоматизации процесса создания цифрового двойника сетки макрорегионов и его визуализации было использовано программное средство на языке Python. Преимуществом предлагаемого способа визуализации является, то, что отображение результатов моделирования с помощью интерактивного картографирования позволяет отразить все виды экономической деятельности и связи между ними в легко читаемом формате. Это, в свою очередь, позволяет прогнозировать поведение экономических отраслей с целью активизации развития субъектов РФ и пространственного развития страны в целом.

**Ключевые слова:** пространственные данные, интерактивное картографирование, визуализация данных, экономическое районирование, цифровой двойник, граф связности отраслей.

## 1. Введение

Эмпирические наблюдения о «различиях производительности факторов производства в разных точках экономического пространства» [1, с. 14] легли в основу теории международного обмена А. Смита и Д. Риккардо. Данные различия остаются актуальными и в настоящее время. При этом базовым инструментом совершенствования территориального планирования является разделение государства на части по совокупности каких-либо взаимосвязанных признаков с целью дифференциации управленческих механизмов с учетом «максимального использования преимуществ, предоставляемых неоднородностью пространства» [2, с.17].

В зависимости от поставленных целей, выделенные в процессе территориального деления части могут служить как основой построения системы государственного управления, представляя из себя административно-территориальные единицы (например, федеральные округа в России), так и основой экономического развития (например, экономические районы в СССР).

В научной литературе, посвященной территориальному делению, в качестве синонима последнего и классиками экономической географии [3-5], и исследователями современного этапа экономического развития [6-10] используется термин «районирование». Как справедливо отмечают А. М. Носонов и В. Н. Пресняков, район — это территория (акватория), выделенная по совокупности каких-либо взаимосвязанных признаков или явлений, а также таксономическая единица в какой-либо системе территориального членения [11, с. 10]. Данная широкая трактовка района будет положена в основу настоящего исследования во избежание усложнений восприятия понятийного аппарата.

Методы районирования являются не просто неотъемлемой частью территориальных исследований, но и конструктивным инструментом объективного выделения промышленных, сельскохозяйственных, транспортных, экономических, социально-экономических и других районов разного иерархического уровня. Результатом районирования является создание сетки социально-экономических районов, которая может служить основой как административно-территориального устройства стран, регионального и местного самоуправления [12], так и основой региональной экономической политики.

Важно отметить, что экономическое районирование является не просто теоретической концепцией, хотя, объективно разделение территории на районы по тем или иным признакам облегчает задачу анализа соответствующих статистических показателей [13]. Вместе с тем, территориальное деление решает прикладные управленческие задачи, и именно этим объясняется интерес к данной тематике в развитых странах, в частности входящих в Евросоюз [14-17]. Как правило, под макрорегионом в данном контексте понимается «пространство, включающее территорию нескольких государств или регионов, объединенных одной или несколькими особенностями или вызовами, ... географическими, культурными, экономическими и др.» [17, с. 8]. Как справедливо замечает М. Богач, исследующая экономическое районирование Европейского союза, «создание макрорегиональных стратегий представляет собой новый способ работы с точки зрения европейского сотрудничества» [14, с.6].

В данном контексте согласимся с А.Н. Демьяненко в том, что в России, экономическое пространство которой отличается высоким уровнем неоднородности, «государственная экономическая политика обречена быть районной» [8, с.5]. Ключевыми сетками районирования на сегодняшний день является разделение территории на 8 федеральных округов, на 4 военных округа и на 12 экономических макрорегионов. Указанные сетки территориального деления представляют из себя объединенные по какому-либо признаку субъекты РФ и призваны решать различные задачи: представительство власти на местах с целью установления административной унификации (администра-

тивно-территориальное деление), обеспечение безопасности страны (военно-административное деление), территориальная организация хозяйственной деятельности национальной экономики (экономическое районирование).

Визуализация результатов районирования производится с помощью картографирования, являющегося практическим инструментом при разработке экономической, социальной, инновационной и других видов политик органами власти. Готовые карты, как правило, представляют из себя статические изображения, на которых выделенные районы изображены разными цветами. Вместе с тем, с развитием цифровых технологий на смену статическим картам пришли электронные интерактивные карты, представляющие из себя «визуальную информационную систему, работающую в режиме двухстороннего диалогового взаимодействия пользователя и компьютера» [18]. Значительным преимуществом таких карт является их многофункциональность за счет интерактивных сервисов [19], а также возможность осуществления предиктивной аналитики, реализации виртуальных экспериментов, составления прогнозов поведения объектов исследования. Таким образом, интерактивная карта представляет из себя прототип реальной сетки районирования, на основе которого можно анализировать и прогнозировать изменение поведения экономических отраслей и отдельных регионов в процессе внедрения различных инструментов государственной политики пространственного развития. Данный вопрос исследуется учеными и управленцами в контексте так называемых цифровых двойников [20-25], актуальность изучения которых не вызывает сомнения в свете повсеместной диджитализации.

В нашем исследовании мы более подробно остановимся именно на экономическом районировании, под которым мы понимаем территориальное деление, нацеленное на дефрагментацию экономической региональной политики с целью обеспечения поступательного развития страны. Несмотря на признанную учеными высокую значимость экономического районирования, «научный подход к районированию сегодня находится в некоей стагнации, поиске нового взгляда на регион, его сущность и перспективы развития» [26, с.160], а «государственное управление остро нуждается в научном районировании, которое позволило бы дифференцировать принимаемые решения применительно к особенностям разных частей страны» [9, с.19].

Учитывая вышеизложенное, а также принимая во внимание масштаб территории России, особую важность при экономическом районировании приобретает возможность получения целостного визуального представления соответствующих статистических данных как в разрезе отдельных субъектов РФ, так и в части целых экономических макрорегионов. При этом, речь идет не просто об обеспечении опции восприятия, оценки и анализа имеющейся информации. Прежде всего, целью визуального представления данных относительно экономического районирования является **обеспечение возможности моделирования территориальной организации хозяйственной деятельности и прогнозирования поведения экономических отраслей с целью повышения темпов роста национальной экономики и ее пространственного развития.**

На основании вышеизложенного, можно с уверенностью говорить о том, что визуализация результатов территориального деления путем интерактивного картографирования является важнейшей составляющей процесса формирования планов, прогнозов и стратегий пространственного развития как отдельных отраслей и регионов, так и макрорегионов, и национальной экономики в целом.

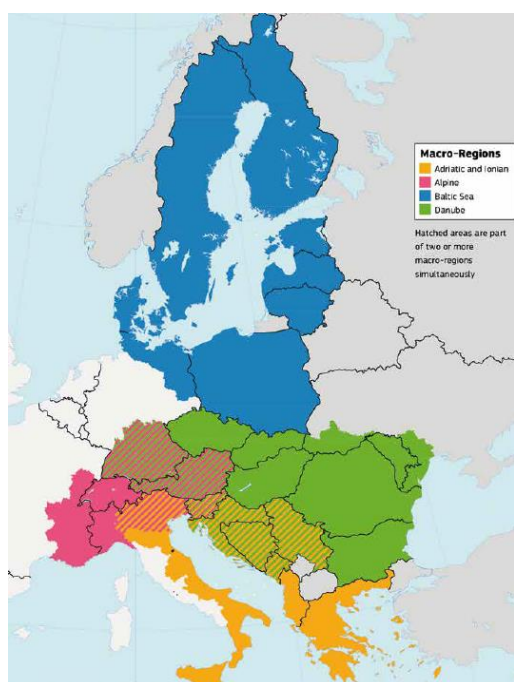
## **2. Систематизация существующих способов визуализации экономического районирования**

Использование визуальных методов отображения результатов картографирования в части территориального деления призвано упростить выполнение задач пространственного планирования, прогнозирования, программирования и стратегирования.

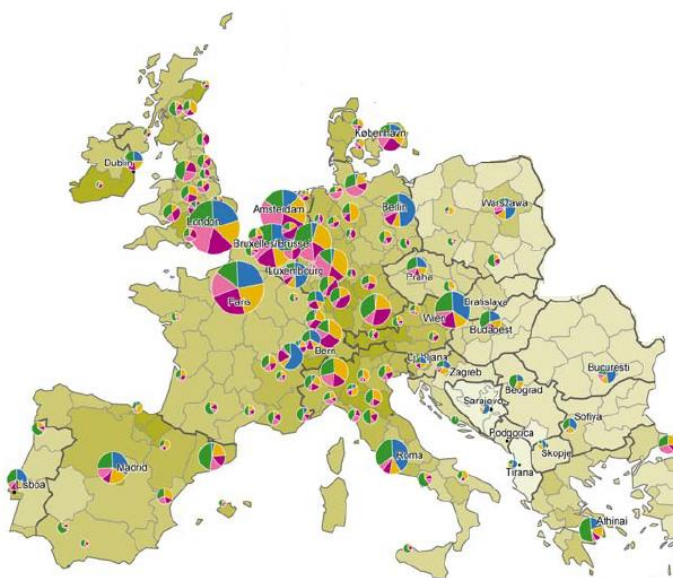
Обзор научной литературы и информационных источников из сети интернет, содержащих картографическую визуализацию экономического районирования, выявил, что, решение задачи территориального деления производится на практике путем формирования как статических, так и интерактивных карт.

Рассмотрим практическое приложение выделенных видов карт подробнее. Так, практически все территориальные исследования (а тем более исследования в области экономического районирования) предполагают картографическую визуализацию полученных результатов. Таким образом, все они содержат статистические карты, отображающие выделенные районы на основе предварительных качественных или количественных расчетов.

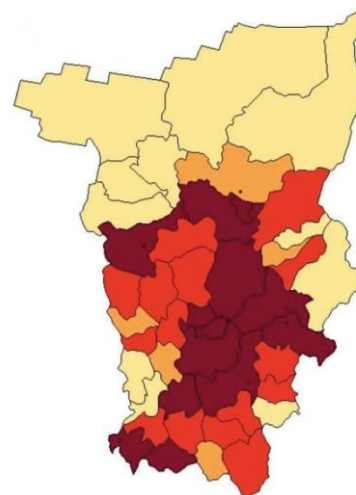
Несмотря на то, что статические карты могут быть построены путем использования различных инструментов визуализации, их объединяет то, что они отражают конкретные результаты и не позволяют получать дополнительную информацию кроме той, которая фактически отражена на географической карте [17, 27-30]. Иногда в научной литературе их называют «неинтерактивными программно-зависимыми» [31], что, по сути, означает создание их в специальных программах, платформах или с помощью языков программирования (CorelDRAW, Adobe Illustrator, Microsoft Power BI, Stata, R и другие), поддерживающих операционную систему пользователя. Очевидным недостатком таких карт является отсутствие интерактивности, и, вытекающая из этого проблема перегруженности карт условными знаками. Примеры неинтерактивных программно-зависимых карт, визуализирующих результаты экономического районирования, представлены на рисунке 1.



а) Макрорегионы Европейского союза [32]



б) Кластеризация регионов Европы по уровню развития производства [33, с. 53]



в) Карта стратегических инвестиционных проектов Сибири [34, с. 249]

г) Кластеризация муниципалитетов Пермского края по уровню безработицы [35, с. 407]

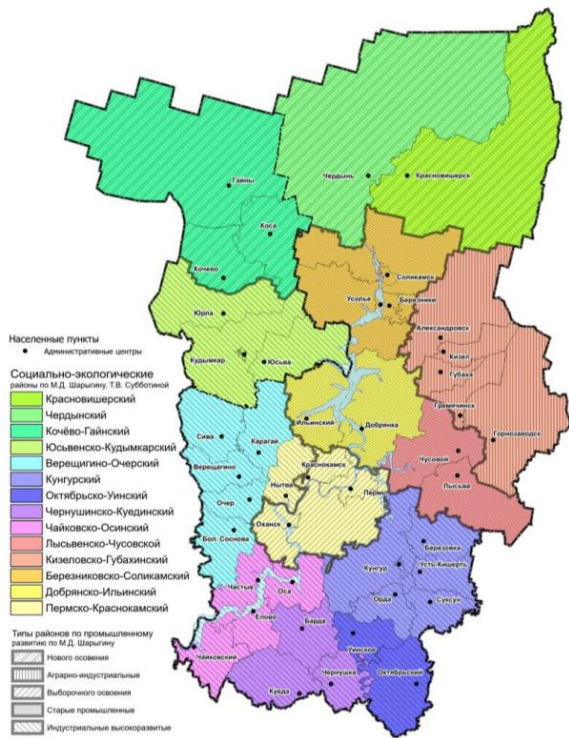
Рис. 1. Примеры неинтерактивных программно-зависимых карт, визуализирующих результаты экономического районирования

Переходя к рассмотрению практического применения второго вида карт – интерактивных, отметим, что мы рассматривали только карты, отражающие результаты экономического районирования, представленные на различных сайтах и платформах и «обладающие свойством информативности» [31, с.26].

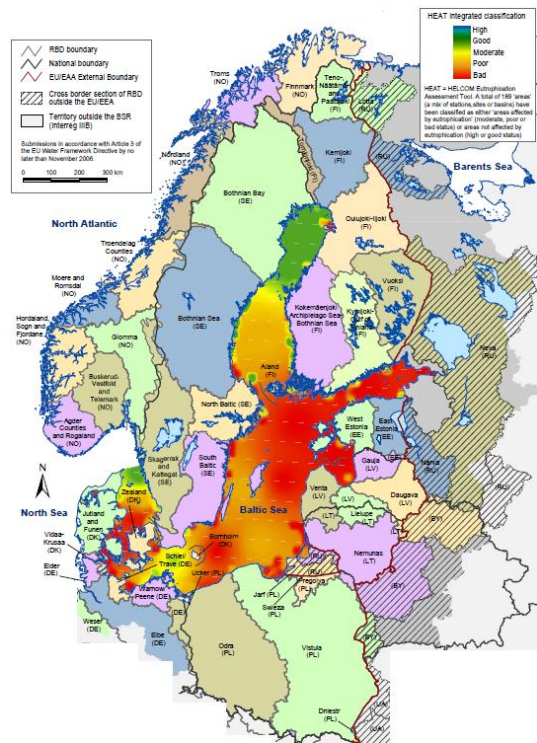
Интерактивные карты условно подразделяются на программно-зависимые и программно-независимые. К интерактивным программно-зависимым относят карты, формируемые с помощью специализированных картографических программ (MapInfo, ArcGis и QGIS и др.). Полученная карта представляет собой файл (или несколько файлов). Для работы с такой картой необходим компьютер с операционной системой (в основном Windows) и соответствующая программа, в которой она была создана или программа, поддерживающая данный формат карты. Недостатком данных карт является низкая степень интерактивности, под которой понимают «показатель, характеризующий, насколько быстро и удобно пользователь может добиться своей цели» [19]. Это обусловлено, в первую очередь, платностью специализированных картографических программ. Кроме того, отметим ограниченные возможности в области интеграции статистических и расчетных данных (так, пользователь самостоятельно должен найти специальные файлы слоев карт (shape-файлы), а также ограниченные возможности демонстрации полученных результатов, не позволяющие выложить результаты картографирования в общий открытый доступ.

Вместе с тем, в отличие от простых статических, неинтерактивных карт, «у каждого условного знака на интерактивной карте есть не только его обычная информационная составляющая, но и скрытая, выводящаяся по мере надобности пользователя. Такой подход позволяет не перегружать карту условными знаками, делает ее более понятной и легкочитаемой» [19], а также позволяет менять визуальное восприятие в зависимости от поставленных пользователем задач.

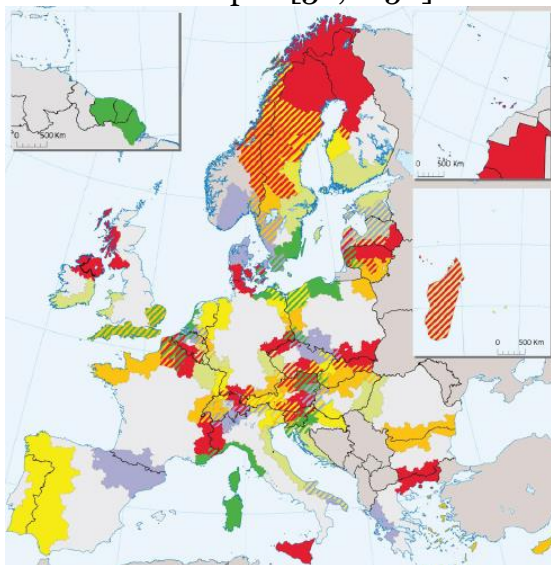
Примеры интерактивных программно-зависимых карт, визуализирующих результаты экономического районирования, представлены на рисунке 2.



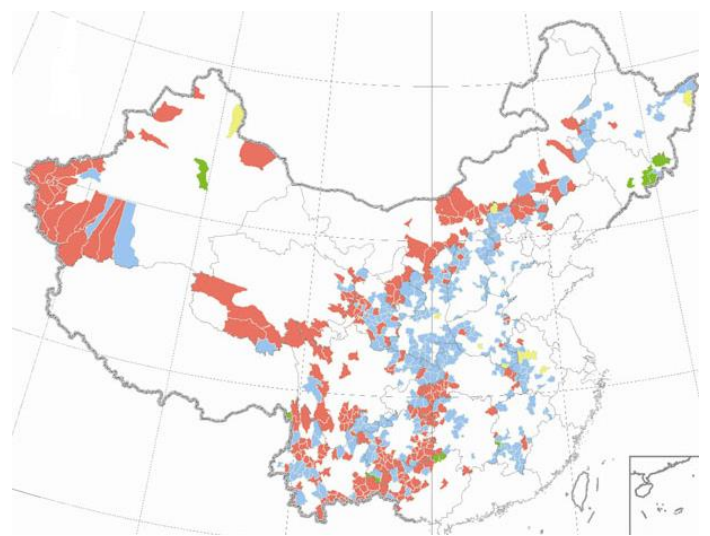
а) Экономическое и социально-экологическое районирование Пермского края [36, с. 50]



б) Районы речных бассейнов в Балтийском регионе [15, с. 30]



в) Программы трансграничного сотрудничества Европейского Фонда регионального развития (European Regional Development Fund cross-border cooperation programmes) [37, с. 255]

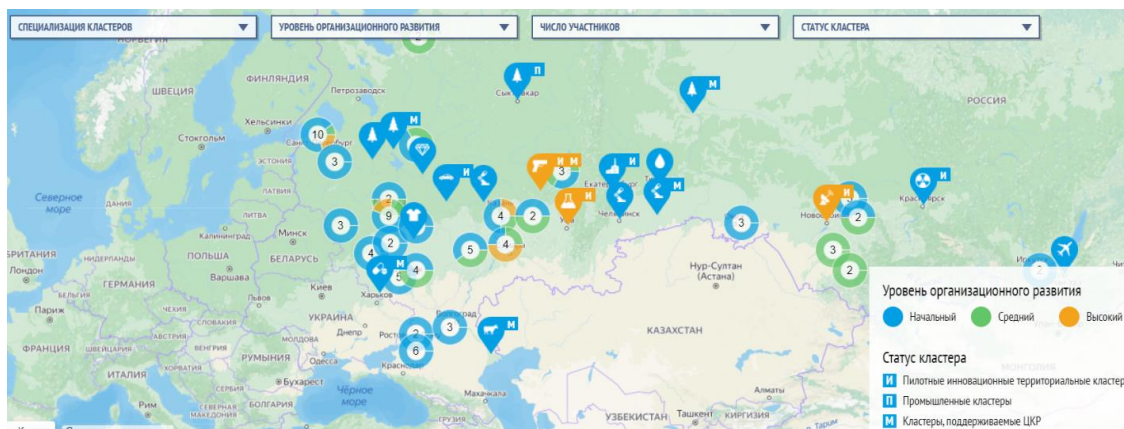


г) Кластеризация регионов Китая по уровню бедности (Types of nation-level poverty counties) [38, с.200]

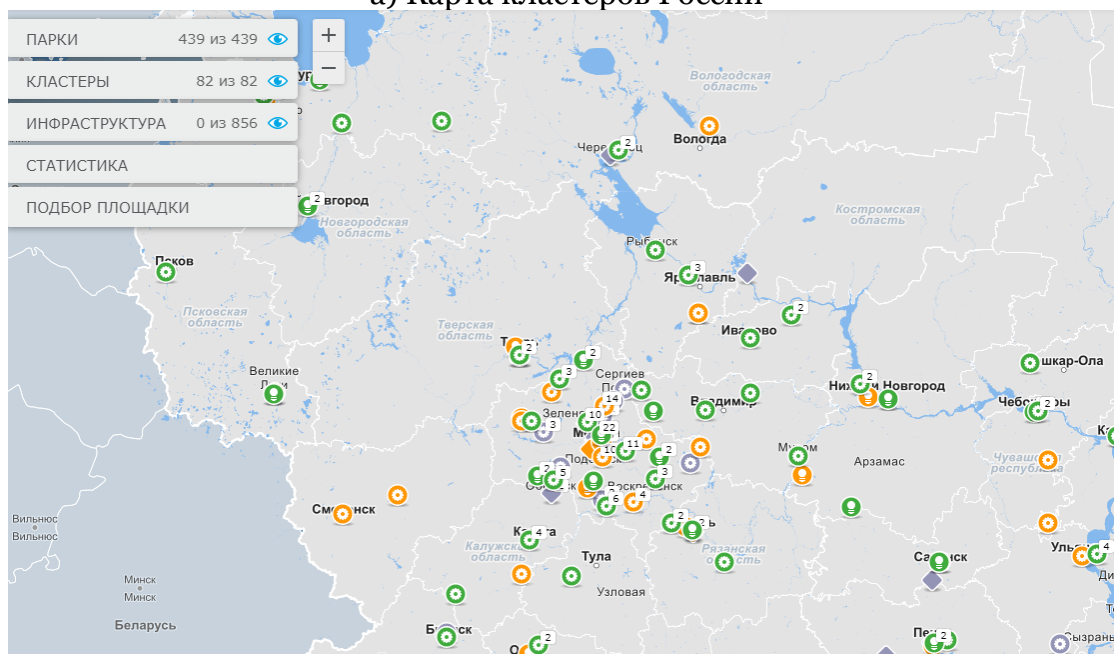
Рис. 2. Примеры интерактивных программно-зависимых карт, визуализирующих результаты экономического районирования

К интерактивным программно-независимым относят электронные карты, которые создаются в специальных сервисах, таких как, например, Googlemaps, Яндекс карты, MapGps и т. п. Для работы с данными картами необходимо иметь выход в интернет и иметь регистрацию на сервисе. Преимущества данных карт очевидны: онлайн доступ к сервисам; возможности создания интерактивных карт на удаленном, а также совместном доступе; простой интерфейс с возможностью интеграции текста, видео и фотогра-

фий, как с личного компьютера, так и из интернет-сети; наличие опции встраивания созданных интерактивных карт на сайты, блоги; бесплатное использование. Примеры интерактивных программно-независимых карт в разрезе регионов России представлены на рисунке 3 [39, 40].



а) Карта кластеров России



б) Государственная информационная система промышленности  
Рис. 3 Примеры интерактивных программно-независимых карт

Примеров интерактивных программно-независимых карт, визуализирующих результаты экономического районирования в России, мы не нашли. Вместе с тем, такие карты повсеместно используются статистическими службами многих больших по площади государств (например, США [41], Канада [42], Новая Зеландия [43], Страны Евросоюза [44], Австралия [45]) для аналитической деятельности и для разработки стратегий развития территорий мезоэкономического уровня.

Подводя итог анализу визуализации задачи территориального деления, отметим, что именно интерактивные карты в полной мере позволяют прогнозировать поведение экономических отрасли, а, следовательно, дают возможность составлять как обоснованные прогнозы развития субъектов РФ, так и адекватные стратегии развития национальной экономики. Вместе с тем, мы не обнаружили доступного визуального отображения таких расчетов на примере отечественных данных, в полной мере реализующего функцию удобного восприятия информации.

Кроме того, несмотря на многочисленные достоинства интерактивных программно-независимых карт, нами было выявлено, что большинство интерактивных географических карт, отражающих процессы экономической кластеризации отечественных регионов, используют статичные данные. Выявленный недостаток является существенным, так как актуальные данные – это залог качественных прогнозов территориального и пространственного развития. Соответственно, интерактивная географическая карта, воплощающая цифровой двойник реальной территории и позволяющая производить автоматическое обновление данных, пересчет запрашиваемых показателей и изменение визуального результата, является незаменимым инструментом качественного моделирования территориальной организации хозяйственной деятельности и прогнозирования поведения экономических отраслей с целью повышения темпов роста национальной экономики. Обоснованию важности и возможности создания такого инструментария и посвящено настоящее исследование.

### **3. Алгоритм визуализации задачи территориального деления на основе концепции экономической сложности**

В данной части работы опишем алгоритм задачи территориального деления на основе концепции экономической сложности, предложенной Ц. Идальго, Б. Клиндером, А.-Л. Барабаша и Р. Хаусманном [46] в 2007 г. и раскрытой ими в концепции сложности экономики в 2009 г. [47]. Ученые разработали индекс сложности экономики (далее по тексту – ИСЭ), позволяющий определять уровень ее развития через диверсифицированность отраслевой структуры экспорта и отражающий меру взаимосвязанности и взаимозависимости предприятий, а значит показывающий «объем мобилизуемых обществом знаний» [48, с. 18]. Таким образом, сложность экономики воплощается в системе знаний, которые объединяются для производства товаров [49], а ее повышение является «одной из основных целей государственной экономической и научно-технической политики» [50, слайд 12].

Визуальная оценка уровня сложности экономики может быть осуществлена путем анализа карты продуктового пространства. При этом «пространство всех товаров» представляет собой граф, вершинами которого являются виды экономической деятельности, а ребрами – связи между смежными отраслями, взаимодополняющими друг друга на основе наличия общих компетенций. Таким образом, под сложной понимается высокодиверсифицированная экономика, в основе развития которой лежит производство продуктов, требующих широкого набора знаний и компетенций. Подробно авторская методика экономического районирования представлена в работе [51].

Алгоритм создания цифрового двойника сетки макрорегионов был написан на языке программирования Python с использованием наборов библиотек BeautifulSoup, math, matplotlib, nltk, numpy, scipy, rutmextract, xlrd, xlwt. Алгоритм реализуется в виде программного средства, представляющего собой web-приложение – интегратор данных, размещенное в публичном доступе ([http://ruclusters.ru/spatial\\_development](http://ruclusters.ru/spatial_development) [52]). Цифровой двойник синтезирует региональные статистические данные на основе парсинга сайтов и позволяют строить имитационные модели нахождения оптимального варианта территориального деления с учетом перспективной межрегиональной кооперации.

Схема взаимодействия подсистем программного средства, представленный на рис. 4, включает в себя 11 этапов.



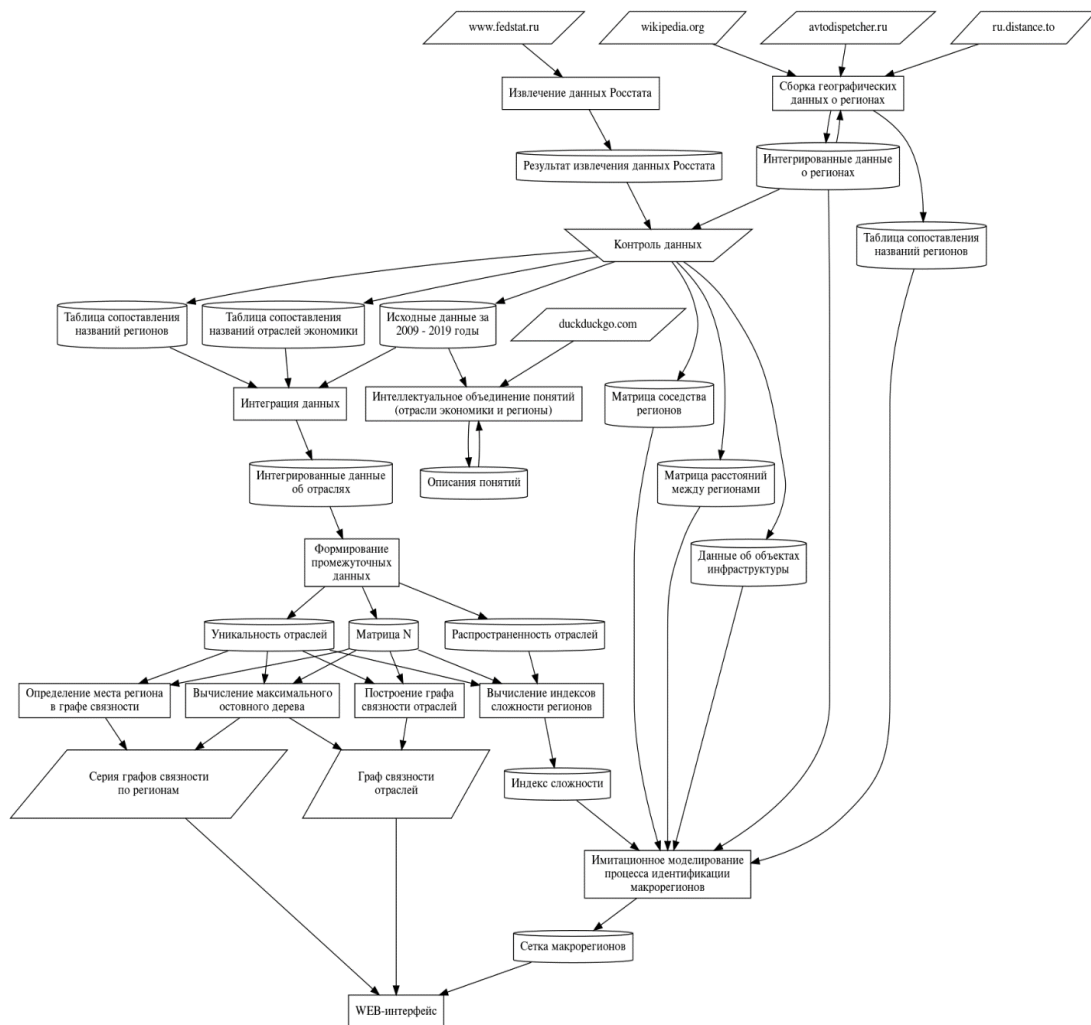


Рис. 4. Схема взаимодействия программ

Рассмотрим более подробно каждый из этапов алгоритма.

**Этап 1.** Извлечение данных Росстата.

На первом этапе осуществляется автоматизированный сбор статистических данных (парсинг) из открытых интернет-источников таких как: ЕМИСС Государственная статистика [www.fedstat.ru](http://www.fedstat.ru), и свободная энциклопедия [wikipedia.org](http://wikipedia.org). В результате получается структура следующего типа:

```
"Липецкая область": {
  "emisname": "Липецкая область",
  "center": "Липецк",
  "code": "RU-LIP",
  "vgr": "o",
  "code": "RU-LIP",
  "neighbors": [
    "Рязанская область",
    "Тульская область",
    "Тамбовская область",
    "Орловская область",
    "Курская область",
    "Воронежская область"
  ],
  "yandexname": "Липецкая область",
  "color": "#ffffff"
},
```

Представлена структура еще не собрана в единую базу на данном этапе, т. к. база данных собирается на отдельных этапах различными алгоритмами. Кроме того, данные автоматически обновляются через заданный период времени. Ввиду специфики используемых статистических показателей, данные по ним обновляются раз в год.

**Этап 2.** Сборка географических данных о регионах.

Расчет расстояний между регионами происходит при помощи сайтов «Автодиспетчер» [avtodispatcher.ru](http://avtodispatcher.ru) и Калькулятор расстояний [ru.distance.to](http://ru.distance.to). В результате формируется матрица расстояний между центрами регионов. В тех случаях, если автомобильной или железной дороги нет (некоторые регионы Дальнего востока и Крайнего севера), берется расстояние по карте, домножаемое на коэффициент, подбираемый экспериментально.

**Этап 3.** Контроль данных.

На этапе контроля данных производится выборочный ручной контроль корректности обработки веб-источников. Это необходимо т.к. извлечение данных из веб-страниц зависит от их оформления, задаваемого владельцем сайта. Если оформление будет изменено значительным образом (например, при выходе новой версии ПО сайта-источника данных), обработка может произойти некорректно, что приведет к ошибкам в дальнейших расчетах.

**Этап 4.** Интеграция данных.

На этом этапе производится объединение результатов обработки различных источников, таких как Исходные данные Росстата за 2009 - 2019 годы, таблица сопоставления названий отраслей экономики и таблица сопоставления названий регионов. Объединение происходит на основе нечетких алгоритмов сравнения текстовых данных, что позволяет избежать разночтений в названиях регионов и отраслей, свойственных полуструктурированным данным, размещаемым в Интернете.

**Этап 5.** Интеллектуальное объединение понятий (отрасли экономики и регионы).

На данном этапе происходит нечеткая обработка данных для использования на последующих этапах. Нечеткий лингвистический портрет понятий составляется при помощи поисковой системы [duckduckgo.com](http://duckduckgo.com). В результате, например, удастся автоматически устанавливать связь между такими понятиями как «кожуун» и «муниципалитет».

**Этап 6.** Формирование промежуточных данных.

Для каждого региона определяются виды экономической деятельности, которые обладают сравнительным преимуществом на основании расчета коэффициентов локализации:

$$LQ_{ri} = \frac{empl_{ri} / \sum_i empl_{ri}}{\sum_r empl_{ri} / \sum_i \sum_r empl_{ri}} \quad (1)$$

где  $r$  – индекс региона,  $empl_{ri}$  – суммарное количество занятых по видам экономической деятельности  $i$  в регионе  $r$ ,  $\sum_i empl_{ri}$  – суммарное количество занятых в регионе  $r$ ,  $\sum_r empl_{ri}$  – суммарное количество занятых по видам деятельности  $i$ ,  $\sum_i \sum_r empl_{ri}$  – общая занятость в стране.

Далее формируется матрица  $M$ , строками которой являются регионы, столбцами – виды экономической деятельности. Элемент матрицы равен 1, если в регионе коэффициент локализации отрасли больше 1, и равен 0 в противном случае:

$$m_{ri} = \begin{cases} 1, & \text{если } LQ_{ri} > 1 \\ 0, & \text{если } LQ_{ri} \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

Также формируется дополнительная бинарная матрица  $S$ , элемент которой  $s_{ri}$  равен 1, если число занятых в регионе в определенной отрасли входят в 90% занятых по стране. Необходимость ввода дополнительной матрицы обоснована тем, чтобы исключить из рассмотрения для конкретного региона те отрасли, где занятых очень мало. Далее формируется Итоговая матрица  $N$  путем поэлементного умножения элементов двух матриц:

$$n_{ri} = m_{ri} * s_{ri} \quad (3)$$

На основании данных итоговой матрицы  $N$  формируются векторы разнообразия  $d_r = \sum_i N_{ri}$  (сколько всего отраслей специализации в каждом регионе) и повсеместности  $u_i = \sum_r N_{ri}$  (сколько регионов специализируется в каждой из отраслей) распространения отраслей среди регионов.

**Этап 7.** Вычисление индексов сложности регионов.

Для каждого региона рассчитывается индекс экономической сложности путем нахождения суммы элементов матрицы сложности  $\tilde{N}$  по строке. Матрица сложности получается в результате матричного умножения обратной диагональной матрицы, сформированной из вектора разнообразия отраслей  $D$ , и матрицы  $B$ , рассчитанной на основе итоговой матрицы и векторов разнообразия и повсеместности:

$$\tilde{N} = D^{-1}S \quad (4)$$

при этом элемент матрицы  $B$  рассчитывается по формуле:  $b_{rr'} = \sum_i \frac{n_{ri}n_{r'i}}{u_i}$

**Этап 8.** Вычисление максимального остовного дерева.

Визуализация графа реализуется согласно следующим принципам: во-первых, все отрасли должны быть связаны между собой, т.е. не должно быть изолированных видов деятельности в графе, во-вторых, граф не должен быть «перегружен» большим количеством ребер. Первый принцип реализуется путем построения максимального остовного дерева (the maximum spanning tree), т.е. набора связей, который соединяет все вершины графа с помощью минимального количества ребер и максимально возможного значения силы связи между вершинами. Максимальное остовное дерево строится с помощью алгоритма Крускала. Второй принцип реализуется путем наложения ограничения на среднее количество ребер, приходящихся на одну вершину графа: их должно быть не более 5. Таким образом, мы избегаем излишней визуальной сложности графа. В противном случае, на графе могут быть перекрыты наиболее релевантные связи.

**Этап 9.** Построение графа связности отраслей.

После расчета индекса сложности строится граф связности отраслей национальной экономики. С помощью графа визуализируются наиболее сильные связи между отраслями экономики. Вершинами графа связности отраслей являются виды деятельности согласно ОКВЭД, а ребрами – «расстояния» между ними. «Расстояние» между отраслями измеряется на основе данных итоговой матрицы  $N$  и рассчитывается как минимум между условной вероятностью наличия сравнительного преимущества в виде деятельности  $i$ , учитывая, что регион имеет сравнительное преимущество в виде деятельности  $j$  и условной вероятностью наличия сравнительного преимущества в виде деятельности  $j$ , учитывая выявленное сравнительное преимущество в виде деятельности  $i$ :

$$\varphi_{ij} = \min(\mathbb{P}(n_{ri} = 1 | n_{rj} = 1), \mathbb{P}(n_{rj} = 1 | n_{ri} = 1)) \quad (5)$$

Чем выше значение «расстояния» между отраслями, тем сильнее они между собой связаны. В итоге, с учетом упомянутых принципов, строится граф связанности отраслей с помощью алгоритма «neato» программного обеспечения Graphviz [53] (рис. 5).

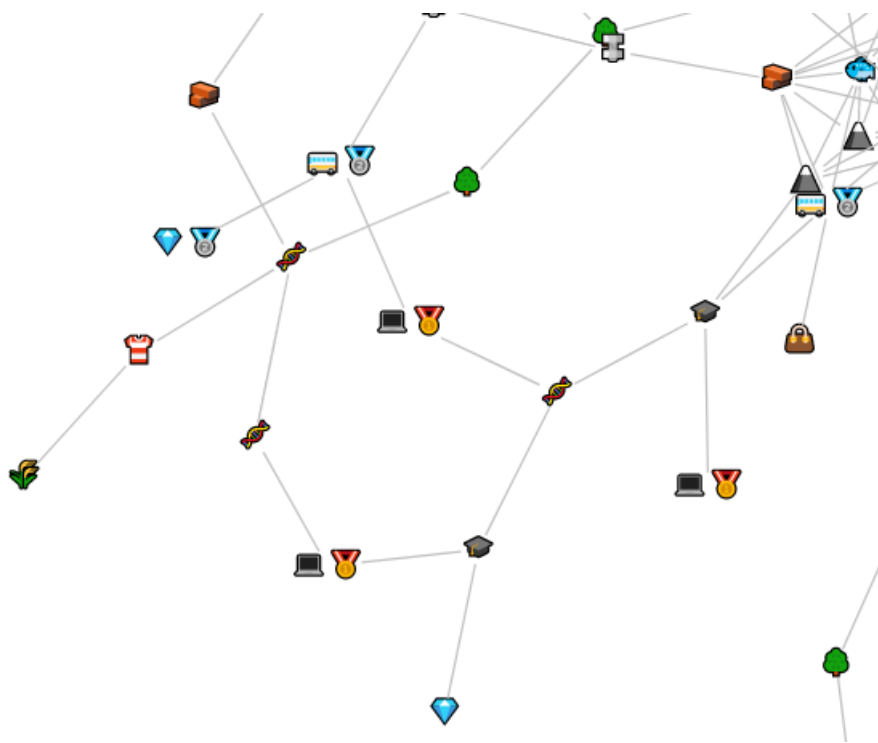


Рис. 5 - Фрагмент графа связности отраслей

**Этап 10.** Определение места региона в графе связности

Место региона в графе связанности отраслей определяется на основе данных Итоговой матрицы и визуализируется путем выделения тех отраслей - вершин графа, в которых специализируется регион (рис. 6).

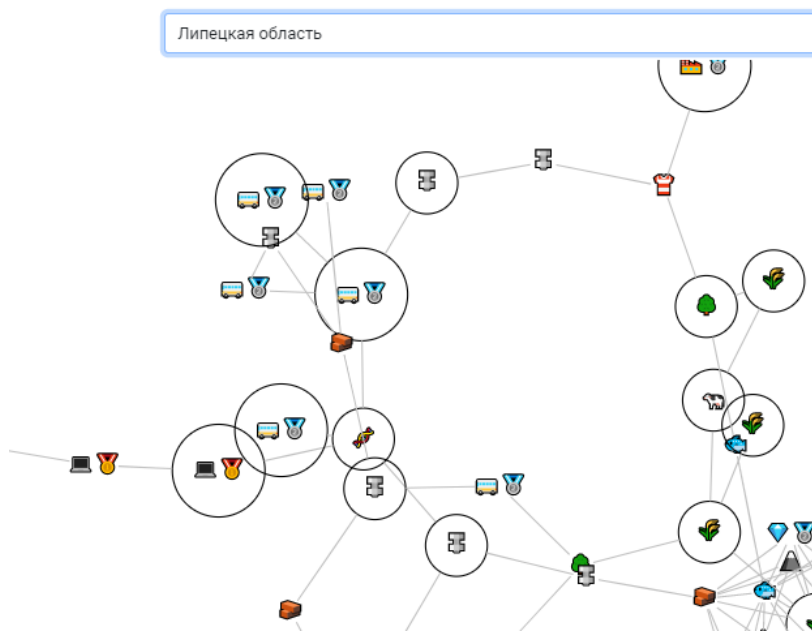


Рис. 6 - Граф связности для региона (фрагмент)

На графе связности для региона тегированы те вершины, которые соответствуют отраслям экономики, выраженным в этом региона. Эти вершины обведены в круг, для чего к вершине графа в нотации graphviz добавляется тэг shape=circle.

**Этап 11.** Имитационное моделирование процесса идентификации макрорегионов

Проведение имитационного эксперимента для нахождения оптимальной сетки макрорегионов подразумевает выполнение следующих условий:

1. Значение индекса Тейла минимально (т.е. неоднородность минимальна между регионами внутри макрорегиона и между самими макрорегионами);
2. Каждый из регионов, входящих в макрорегион, имеет общую границу хотя бы с одним регионом из данного макрорегиона;
3. При добавлении региона в макрорегион индекс экономической сложности макрорегиона не уменьшается;
4. На территории макрорегиона имеются определенные объекты социальной и инженерной инфраструктуры на основе авторской методики [54]. Данное условие будет гарантировать как минимум сохранение имеющегося населения и как максимум его положительное воспроизводство.

Эксперимент осуществляется на основе анализа географической связности регионов, получаемой из интернет-источников. Также используются расстояния между центрами регионов, вычисленные индексы экономической сложности регионов и входящие в их состав инфраструктурные объекты (наличие порта, крупной магистрали, объектов здравоохранения и т.п.). Условное ядро макрорегиона выбирается как очередной регион России в списке не вошедших в макрорегионы, и имеющий максимально-выраженную инфраструктурную сложность. К нему присоединяются такие регионы, которые а) граничат с ним, б) увеличивают инфраструктурную и экономическую сложность образования и в) не увеличивают значение индекса Тейла. Процесс происходит итеративно. В результате выбираются такие варианты компоновки макрорегиона, для которых показатели экономической и инфраструктурной сложности максимальны, но индекс Тейла минимален.

В ряде случаев могут возникать ситуации, когда описанный выше подход не находит потенциальных кандидатов на включение в состав макрорегиона, и формируется «псевдомакрорегион», состоящий из одного региона. Тогда реализуется второй этап поиска и устранения «псевдомакрорегионов». При этом рассматриваются все возможные варианты «псевдомакрорегионов» и уже сформированных макрорегионов, добавление «псевдомакрорегиона» в макрорегион происходит при условии, что индекс Тейла для макрорегиона не увеличивается при объединении его с «псевдомакрорегионом». При этом также учитывается географическая близость регионов.

Исходя из численных значений индекса сложности экономик регионов, формирующих макроэкономический регион, и места региона в графе связности отраслей национальной экономики, определяется потенциал возникновения смежных отраслей и их дальнейшего развития в макрорегионе. Это, в свою очередь, дает объективные предпосылки для определения перспективой специализации макрорегиона.

В результате имитационного эксперимента определяется оптимальная структура экономического районирования, представляющая из себя цифровой двойник сетки макроэкономических регионов России.

#### **4. Визуализация задачи экономического районирования на основе интерактивного картографирования**

Апробация алгоритмизации и программирования территориального деления на основе интерактивного картографирования была произведена на статистических данных субъектов РФ с учетом перспективных направлений межрегионального взаимодействия. В работе были рассчитаны индексы сложности для каждого субъекта РФ; построен граф связности отраслей национальной экономики и определено место каждого субъекта РФ на графе; определена оптимальная структура макрорегионов на основе авторской методики. Результаты апробации размещены в публичном доступе ([http://ruclusters.ru/spatial\\_development](http://ruclusters.ru/spatial_development) [52]).

Цифровой двойник оптимальной сетки макроэкономических регионов, базирующийся на основе интерактивного картографирования, включает в себя следующие элементы: выпадающий список с возможностью выбора региона для анализа, граф связ-

ности отраслей национальной экономики и интерактивная географическая карта (рис. 7).

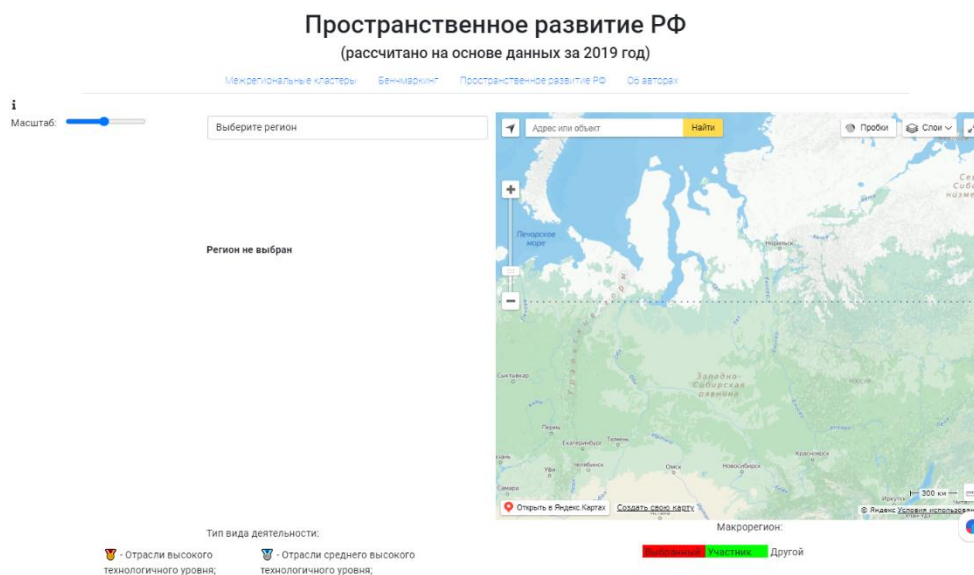


Рис. 7. Общий вид web-приложения «Пространственное развитие РФ»

После выбора региона для анализа в левой части окна приложения отображается граф связности отраслей национальной экономики РФ. На графе выводятся те виды деятельности, в которых анализируемый регион имеет сравнительное преимущество (коэффициент локализации больше 1).

Расчет базировался на основе показателя «Среднесписочная численность работников по полному кругу организаций», по которому была сформирована единая база статистических данных для 83 регионов России за период с 2009 г. по 2019 г. по 104 видам экономической деятельности (всего 94 952 значения).

Таким образом, граф содержит 104 вершин, имеющих хотя бы одну связь с соседней вершиной. В центре графа находятся наиболее «сложные» отрасли. В правой части окна web-приложения отображается географическая интерактивная карта, на которой красным цветом выделен анализируемый регион, а зеленым цветом – регионы макро-региона, в который входит анализируемый регион (рис. 8).

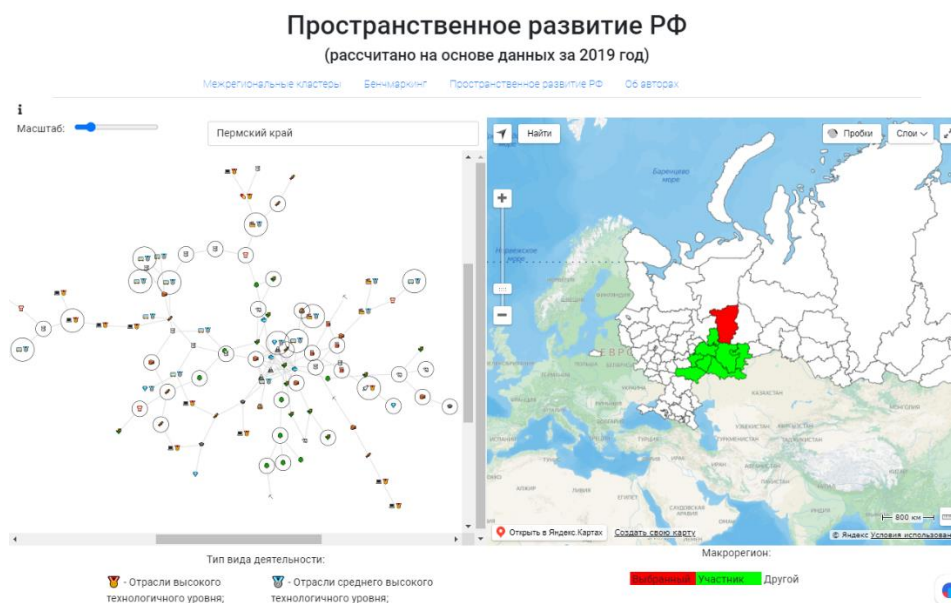


Рис. 8. Внешний вид web-приложения при выборе региона в выпадающем списке

Кроме того, при наведении на любую из вершин графа появляется всплывающая подсказка с названием вида деятельности, а при клике на вершину графа (выборе вида деятельности) на географической интерактивной карте в режиме реального времени отображаются предприятия, имеющие специализацию в данном виде деятельности (рис. 9).



Рис. 9 Внешний вид web-приложения при выборе вида деятельности на графе связности отраслей.

На основе анализа местоположения регионов РФ в графе связности отраслей возможно определение перспективных специализаций макрорегионов в национальной и мировой экономике, развитие которых производится путем встраивания хозяйствующих субъектов в цепочки добавленной стоимости регионов макрорегиона.

## 5. Заключение

В работе представлена методика компьютерной визуализации задачи алгоритмизации и программирования экономического районирования на основе интерактивного картографирования. В основу методики были положены результаты систематизации существующих способов визуализации различных сеток экономического районирования и создания цифровых двойников, а также авторская имитационная модель нахождения оптимального варианта территориального деления с учетом перспективной межрегиональной кооперации.

Основой создания цифрового двойника сетки макрорегионов является математический алгоритм задачи территориального деления, составленный на основе концепции экономической сложности и теории графов. При этом визуализация графа реализуется путем построения максимального остовного дерева с помощью алгоритма Крускала.

Преимуществами предлагаемого способа визуализации является, во-первых, то, что результаты экономического районирования в виде макрорегионов в полной мере позволяют прогнозировать поведение хозяйствующих субъектов, а следовательно дают возможность составлять как обоснованные прогнозы развития отраслей экономики, так и формировать адекватные стратегии пространственного развития; во-вторых, визуальное отображение результатов моделирования с помощью интерактивного картографирования позволяет отразить все виды экономической деятельности и связи меж-

ду ними в легкочитаемом формате, т.е. в формате, который легко понять широкой аудитории.

Практическая значимость web-приложения «Пространственное развитие РФ», обусловлена потенциальными возможностями его применения исполнительными органами государственной власти федерального и регионального уровней при определении направлений межрегионального взаимодействия с целью моделирования территориальной организации хозяйственной деятельности и прогнозирования поведения экономических отраслей национальной экономики с целью повышения темпов её роста. Кроме того, изложенный подход к визуализации экономического районирования планируется положить в основу разработки тестового стенда цифровой исследовательской платформы «RegScienceGRID», нацеленной на работу с большими региональными данными и использующей наиболее перспективные открытые решения из стека технологий машинного обучения.

## Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-01674, <https://rscf.ru/project/22-28-01674/>.

## Список литературы

1. Минакир П.А., Демьяненко А.Н. Пространственная экономика: эволюция подходов и методология // Пространственная экономика, № 2, 2010, С. 6-32.
2. Минакир П.А. "Стратегия пространственного развития" в интерьере концепций пространственной организации экономики // Пространственная экономика, № 4, 2018, С. 8-20 (doi: 10.14530/se.2018.4.008-020).
3. Александров И.Г. Экономическое районирование России. М.: Госплан, 1921, 15 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.shpl.ru/ru/nodes/35415#mode/inspect/page/21/zoom/4> (дата обращения 24.05.2022).
4. Книпович Б.Н. Сельскохозяйственное районирование. М.: Новая деревня, 1925. 192 с.
5. Колосовский Н.Н. Избранные труды. Смоленск: Изд-во Ойкумена, 2006, 334 с.
6. Бакланов П.Я. О содержании и «смыслах» социально-экономического районирования // Географический вестник, № 3, 2018, С. 24–30 (doi: 10.17072/2079-7877-2018-3-24-30 7).
7. Горбанёв В.А., Кочуров Б.И. Проблемы территориального районирования России: национальные и международные аспекты // Вестник МГИМО-Университета, № 4, 2018, С. 23–54 (doi: 10.24833/2071-8160-2018-4-61-23-54).
8. Демьяненко А.Н. Об экономическом районировании и районообразовании // Регионалистика, Т. 5, № 6, 2018, С. 5-17 (doi: 10.14530/reg.2018.6.5).
9. Смирнягин Л.В. Методические подходы к районированию в общественной географии // Вестник Московского университета. Серия 5: География, № 6, 2011, С. 13-19.
10. Шувалов, В. Е. Районирование в российской социально-экономической географии: современное состояние и направления развития // Региональные исследования, № 3(49), 2015, С. 19-29.
11. Носонов А.М., Пресняков В.Н. Курс лекций по экономическому районированию: электронное учебное пособие. Саранск: [б.и], 2011, 66 с.
12. Шарыгин М.Д., Столбов В.А. Введение в экономическую и социальную географию: учебное пособие для вузов. Москва: Дрофа, 2007. [Электронный ресурс]. URL: [http://geo.psu.ru/http://geo.psu.ru/wp-content/uploads/2013/09/ШарыгинМД-СтолбовВА\\_Введение-в-экономическую-и-социальную-географию.pdf](http://geo.psu.ru/http://geo.psu.ru/wp-content/uploads/2013/09/ШарыгинМД-СтолбовВА_Введение-в-экономическую-и-социальную-географию.pdf) (дата обращения 24.05.2022).



13. Кузнецова О.В. Альтернативные подходы к определению роли макрорегионов России в системе государственного управления // *Федерализм*, № 4, 2019, С. 112–125.
14. Bogacz M. Why does the EU need macroregions? Comparative analysis based on the theoretical explanation and a survey of the enforcement of the EU's Strategy for Baltic Sea Region and the Strategy for the Danube Region. Master's Thesis Aalborg University, 2011. [Электронный ресурс]. URL: <https://studylib.net/doc/7238159/why-does-the-eu-need-macro> (дата обращения 24.05.2022).
15. Dubois A., Hedin S., Schmitt P., Sterling J. EU macro-regions and macro-regional strategies - A scoping study // *Nordregio Electronic Working Paper* 4, 2009. 44 p.
16. Dühr S. Baltic Sea, Danube and Macro-Regional Strategies: A Model for Transnational Cooperation for the EU? // *Notre Europe, Studies and Research*, No. 86, 2011, 72 p.
17. Schymik C. Blueprint for a macro-region. EU Strategies for the Baltic Sea and Danube regions // *SWP Research Paper* 2011/RP 10, 2011, 31 p.
18. Сервис для поиска информации по базе словарей, энциклопедий [Электронный ресурс]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/641413> (дата обращения 24.05.2022).
19. Надыров И.О. Описание концепции интерактивной карты // *Вестник Сибирской государственной геодезической академии*, № 1(14), 2011, С. 62-68.
20. Voosen P. Europe is building a 'digital twin' of Earth to revolutionize climate forecasts // *Science Magazine*, 2020. [Online]. URL: <https://www.sciencemag.org/news/2020/10/europe-building-digital-twin-earth-revolutionize-climate-forecasts> (дата обращения 04.02.2023).
21. Virtual Singapore // National Research Foundation. Prime Minister's Office Singapore <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore> (дата обращения 04.02.2023).
22. Jones D., Snider C., Nassehi A., Yon J., Hicks B. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review // *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 29, Part A, 2020, p. 36-52, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002>.
23. Kshetri N. The Economics of Digital Twins // *IEEE Computer*, 54(4), 2021, pp. 86-90, DOI: <http://www.doi.org/10.1109/MC.2021.3055683>.
24. Кокорев Д.С., Юрин А.А. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса // *TECHNICAL SCIENCE / Colloquium-journal*, № 10(34), 2019, с. 31-35.
25. Wan L., Nochta T., Schooling J. M. Developing a city-level digital twin – propositions and a case study // *International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC): Driving data-informed decision-making*, 2019, pp. 187-193.
26. Соловьева Т. В. Идеи экономического районирования в исторической ретроспективе // *Известия Уральского государственного университета. Серия 2: Гуманитарные науки*, Т. 49, № 13, 2007, С. 153-162.
27. Экономические районы России [Электронный ресурс]. URL: <https://geostudy.ru/economicregions.html> (дата обращения 24.05.2022).
28. Кластеры России [Электронный ресурс]. URL: <http://www.technounity.ru/klasterklastery-rossii/> (дата обращения 24.05.2022).
29. Горбанев В. А., Кочуров Б.И. Проблемы территориального районирования России: национальные и международные аспекты // *Вестник МГИМО Университета*, № 4(61), 2018, С. 23-54 (doi: 10.24833/2071-8160-2018-4-61-23-54).
30. Вишневский Д.С., Демьяненко А.Н. Макроэкономическое зонирование как метод стратегического анализа: Дальний Восток России // *Пространственная экономика*, № 4, 2010, С. 6-31.
31. Бекузарова Н.В., Шумовский О.И. Использование интерактивной карты для формирования исторических знаний // *International Journal of Advanced Studies*, Т. 8, № 4, 2018, С. 22-36 (doi: 10.12731/2227-930X-2018-4-22-36).
32. Официальный сайт Европейской комиссии. Macro-Regional Strategies [Электронный ресурс]. URL: [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/policy/cooperation/macro-regional-strategies/](https://ec.europa.eu/regional_policy/en/policy/cooperation/macro-regional-strategies/) (дата обращения 24.05.2022).

33. Официальный сайт Европейской комиссии. The Territorial State and Perspectives of the European Union. 2011. Background document for the Territorial Agenda of the European Union 2020 [Электронный ресурс]. URL: [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/policy/what/territorial-cohesion/territorial\\_state\\_and\\_perspective\\_2011.pdf](https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/policy/what/territorial-cohesion/territorial_state_and_perspective_2011.pdf) (дата обращения 24.05.2022).
34. Селиверстов В.Е. Региональное стратегическое планирование: от методологии к практике. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2013. 434 с.
35. Dubrovskaya J. V., Kozonogova E. V. The impact of digitalization on the demand for labor in the context of working specialties: Spatial analysis // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика, Vol. 37, № 3, 2021, pp. 395–412 (doi: 10.21638/spbu05.2021.302)
36. Балина Т.А., Николаев Р.С., Осоргин К.С., Пономарева З.В., Столбов В.А., Чекменева Л.Ю. Эволюция научных подходов к районированию Пермского края: теоретические и методологические аспекты // Географический вестник, № 3(58), 2021, С. 45-62 (doi: 10.17072/2079-7877-2021-3-45-62).
37. Investments for growth & jobs. Promoting development and good governance in EU regions and cities / 6th Report on economic, social and territorial cohesion, July 2014. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.abs.gov.au/statistics/standards/australian-statistical-geography-standard-asgs-edition-3/jul2021-jun2026/access-and-downloads/abs-maps> (дата обращения 24.05.2022).
38. Fan, Jie & Wei, Sun & Zhou, Kan. Major Function Oriented Zone: New method of spatial regulation for reshaping regional development pattern in China // Chinese Geographical Science, № 22, 2012, pp. 196-209 (doi: 10.1007/s11769-012-0528-y).
39. Карта кластеров РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://map.cluster.hse.ru/> (дата обращения 24.05.2022).
40. Геоинформационная система промышленных парков, технопарков и промышленных кластеров [Электронный ресурс]. URL: <https://gisp.gov.ru/gisip/> (дата обращения 24.05.2022).
41. Официальный сайт Измерений Америки. Measure of America: A Program of the Social Science Research Council [Электронный ресурс]. URL: [https://measureofamerica.org/maps/?cd%5Eage\\_pyramid\\_total%5Eall\\_all%5EDemographics%5Edemographics](https://measureofamerica.org/maps/?cd%5Eage_pyramid_total%5Eall_all%5EDemographics%5Edemographics) (дата обращения 24.05.2022).
42. Официальный сайт Статистического управления Канады. Geography - Find information by region or area [Электронный ресурс]. URL: [https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/geo?geocode=A000261&subject\\_levels=32&geotext=Northwest%20Territories%20%5BTerritory%5D](https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/geo?geocode=A000261&subject_levels=32&geotext=Northwest%20Territories%20%5BTerritory%5D) (дата обращения 24.05.2022).
43. Официальный сайт Статистического управления Новой Зеландии. New Zealand STATLAS [Электронный ресурс]. URL: <https://maps-by-statsnz.hub.arcgis.com/> (дата обращения 24.05.2022).
44. Официальный сайт Статистической службы Европейского союза. Statistical Atlas [Электронный ресурс]. URL: <https://ec.europa.eu/statistical-atlas/viewer/> (дата обращения 24.05.2022).
45. Официальный сайт Австралийского бюро статистики. ABS Maps [Электронный ресурс]. URL: <https://www.abs.gov.au/statistics/standards/australian-statistical-geography-standard-asgs-edition-3/jul2021-jun2026/access-and-downloads/abs-maps> (дата обращения 24.05.2022).
46. Hidalgo C., Klinger B., Barabasi A.-L., Hausmann R. The product space conditions the development of nations // Science, Vol. 317 (5837), 2007, pp. 482–487.
47. Hidalgo C., Hausmann R. The building blocks of economic complexity // Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, № 106 (26), 2009, pp. 10570–10575.
48. Hausmann, R., Hidalgo, C., Bustos, S., Coscia, M., Simoes, A., & Yildirim, M. The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity. Massachusetts Institute of Technolo-

gy and Center for International Development, Harvard University. 2013. [Электронный ресурс].

49. Balland P.A., Boschma R., Crespo J., Rigby D.L. Smart specialization policy in the European Union: relatedness, knowledge complexity and regional diversification // *Regional Studies*, Vol. 53 (9), 2019, pp. 1252–1268.

50. Крюков, В.А. Изучение вопросов пространственного развития в контексте эволюционного подхода // Выступление на XVIII осенней конференции молодых ученых, Новосибирск, 2022.

51. Dubrovskaya J., Kozanogova E. Modeling the spatial development of the economy on the basis of perspective interregional cooperation and specialization // *Proceedings of the 14th international management conference “Management Sustainable Organizations”* 5th–6th November, 2020, Bucharest, Romania, pp.1040-1052. DOI: 10.24818/IMC/2020/05.14.

52. Пространственное развитие РФ [Электронный ресурс]. URL: <http://ruclusters.ru> (дата обращения 05.02.2023).

53. Визуализация графов «Graphviz». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.graphviz.org/> (дата обращения 24.01.2022).

54. Dubrovskaya, J., Kozonogova, E., Pestereva, T. Evaluation of the State Strategy of Spatial Development Effectiveness of the Russian Federation: A Cluster Approach/ *Eurasian Economic Perspectives : Proceedings of the 28rd Eurasia Business and Economics Society Conference*. Coventry. UK, 2019, pp. 131-140.

# Computer Visualization for the Algorithmization and Programming Task of Territorial Division Based on Interactive Mapping

Yu.V. Dubrovskaya<sup>1,A</sup>, E.V. Kozonogova<sup>2,B</sup>, D.S. Kurushin<sup>3,B</sup>

<sup>A</sup> Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

<sup>B</sup> Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-3205-9264, [uliadubrov@mail.ru](mailto:uliadubrov@mail.ru)

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-9573-7336, [elena.kozonogova@gmail.com](mailto:elena.kozonogova@gmail.com)

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-4798-7423, [daniel@kurushin-perm.ru](mailto:daniel@kurushin-perm.ru)

## **Abstract**

The division of the territory into regions according to some attribute is the most important factor in the effective management of spatial development at the national, macroregional and regional levels of the economy. Applying a defragmented policy on this basis makes it possible to increase both the quality of public space management and the effectiveness of strategic planning. The author's method for visualizing the task of creating a digital twin of the economic zoning grid is presented in this paper based on interactive mapping as well as on the systematization of methods for reflecting the results of territorial division. The concept of economic complexity was used as a methodological approach, which is based on an understanding of the importance of producing complex products that require a wide range of knowledge and competencies.

The basis for the visualization of economic zoning is the author's mathematical algorithm for territorial division of the country into macroeconomic regions, compiled on the basis of graph theory and implemented in the Graphviz software. The creation of a digital twin of the macroregions grid is based on the indicator "Average number of employees for the full range of organizations", according to which a single statistical database was formed for 83 regions of Russia for the period from 2009-2019 for 104 types of economic activity. The graph visualizes the strongest links between sectors of the economy by constructing a maximum spanning tree based on the Kruskal algorithm. The vertices of the industry connectivity graph are the types of activities according to OKVED, and the edges are the "distances" between them.

To automate the process of creating a digital twin of the macroregions grid and its visualization, a software tool in the Python language was used. The advantage of the proposed visualization method is that the display of simulation results using interactive mapping allows reflecting all types of economic activity and the relationships between them in an easy-to-read format. This, in turn, makes it possible to predict the behavior of economic sectors in order to enhance the development of the constituent entities of the Russian Federation and the spatial development of the country as a whole.

**Keywords:** spatial data, interactive mapping, data visualization, economic zoning, digital twin, industry connectivity graph.

## **References**

1. Minakir P.A., Demianenko A.N. Prostranstvennaya ekonomika: evolyutsiya podkhodov i metodologiya [Spatial economics: evolution of approaches and methodology] // Prostranstvennaya ekonomika, № 2, 2010, pp. 6-32. [in Russian]
2. Minakir P.A. "Strategiya prostranstvennogo razvitiya" v interyere kontseptsiy prostranstvennoy organizatsii ekonomiki [Spatial development strategy: a view from the concepts

- of spatial organization in the economy] // *Prostranstvennaya ekonomika*, № 4, 2018, pp. 8-20 (doi: 10.14530/se.2018.4.008-020) [in Russian]
3. Aleksandrov I.G. *Ekonomicheskoye rayonirovaniye Rossii* [Economic zoning of Russia]. M.: Gosplan. 1921. [in Russian]
  4. Knipovich B.N. *Selskokhozyaystvennoye rayonirovaniye* [Agricultural zoning]. M.: Novaya derevnya. 1925. [in Russian]
  5. Kolosovskiy N.N. *Izbrannyye Trudy* [Selected works]. Smolensk: Oykumena. 2006. [in Russian]
  6. Baklanov P.Ya. O soderzhanii i «smyslakh» sotsialno-ekonomicheskogo rayonirovaniya [On the content and "meanings" of social-economic regionalization] // *Geograficheskii vestnik*. № 3, 2018, pp. 24–30. (doi: 10.17072/2079-7877-2018-3-24-30 7) [in Russian]
  7. Gorbanev V.A. Kochurov B.I. Problemy territorialnogo rayonirovaniya Rossii: natsionalnyye i mezhdunarodnyye aspekty [The problem of territorial zoning of the russian federation: domestic and international aspects] // *Vestnik MGIMO-Universiteta*, № 4, 2018, pp. 23–54 (doi: 10.24833/2071-8160-2018-4-61-23-54) [in Russian]
  8. Demianenko A.N. Ob ekonomicheskoy rayonirovani i rayonoobrazovanii [On economic regionalization and formation of regions] // *Regionalistika*, Vol. 5, № 6, 2018, pp. 5-17 (doi: 10.14530/reg.2018.6.5) [in Russian]
  9. Smirnyagin L.V. Metodicheskiye podkhody k rayonirovaniyu v obshchestvennoy geografii [Methodical approaches to regionalization in social geography] // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, № 6, 2011. pp. 13-19 [in Russian].
  10. Shuvalov. V. E. Rayonirovaniye v rossiyskoy sotsialno-ekonomicheskoy geografii: sovremennoye sostoyaniye i napravleniya razvitiya [Regionalization in russian socio-economic geography: development directions] // *Regionalnyye issledovaniya*, № 3(49), 2015, pp. 19-29. [in Russian]
  11. Nosonov A.M., Presnyakov V.N. Kurs lektsiy po ekonomicheskomy rayonirovaniyu: elektronnoye uchebnoye posobiye [A course of lectures on economic zoning: an electronic textbook]. Saransk: [b.i]. 2011. [in Russian]
  12. Sharygin M.D., Stolbov V.A. Vvedeniye v ekonomicheskuyu i sotsialnuyu geografiyu: uchebnoye posobiye dlya vuzov [Introduction to Economic and Social Geography: a textbook for universities]. Moskva: Drofa. 2007. [in Russian]
  13. Kuznetsova O.V. Alternativnyye podkhody k opredeleniyu roli makroregionov Rossii v sisteme gosudarstvennogo upravleniya [Alternative approaches to specify the role macro-regions of russia in the system of public administration] // *Federalizm*, № 4, 2019, pp. 112–125. [in Russian]
  14. Bogacz M. Why does the EU need macroregions? Comparative analysis based on the theoretical explanation and a survey of the enforcement of the EU's Strategy for Baltic Sea Region and the Strategy for the Danube Region. Master's Thesis Aalborg University, 2011. [Electronic resource]. URL: <https://studylib.net/doc/7238159/why-does-the-eu-need-macro>
  15. Dubois A., Hedin S., Schmitt P, Sterling J. EU macro-regions and macro-regional strategies - A scoping study // *Nordregio Electronic Working Paper 4*, 2009.
  16. Dühr S. Baltic Sea, Danube and Macro-Regional Strategies: A Model for Transnational Cooperation for the EU? // *Notre Europe, Studies and Research*, No. 86, 2011, 72 p.
  17. Schymik C. Blueprint for a macro-region. EU Strategies for the Baltic Sea and Danube regions // *SWP Research Paper 2011/RP 10*, 2011, 31 p.
  18. Servis dlya poiska informatsii po baze slovarey entsiklopediy [Service for searching information on the database of dictionaries encyclopedias]. [Electronic resource]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/641413> [in Russian].
  19. Nadyrov I.O. Opisaniye kontseptsii interaktivnoy karty [Description of the interactive map concept] // *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy geodezicheskoy akademii*, № 1(14), 2011, pp. 62-68. [in Russian].
  20. Voosen P. Europe is building a 'digital twin' of Earth to revolutionize climate forecasts // *Science Magazine*, 2020. [Online]. URL:

<https://www.sciencemag.org/news/2020/10/europe-building-digital-twin-earth-revolutionize-climate-forecasts> (дата обращения 04.02.2023).

21. Virtual Singapore // National Research Foundation. Prime Minister's Office Singapore <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore> (дата обращения 04.02.2023).

22. Jones D., Snider C., Nassehi A., Yon J., Hicks B. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 29, Part A, 2020, p. 36-52, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002>.

23. Kshetri N. The Economics of Digital Twins // IEEE Computer, 54(4), 2021, pp. 86-90, DOI: <http://www.doi.org/10.1109/MC.2021.3055683>.

24. Kokorev D.S., Yurin A.A. Tsifrovyye dvoyniki: ponyatiye, tipy i preimushchestva dlya biznesa [Digital twins: concept, types and benefits for business] // TECHNICAL SCIENCE / Colloquium-journal, № 10(34), 2019, pp. 31-35 [in Russian].

25. Wan L., Nocht T., Schooling J. M. Developing a city-level digital twin – propositions and a case study // International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC): Driving data-informed decision-making, 2019, pp. 187-193.

26. Solovyeva T. V. Idei ekonomicheskogo rayonirovaniya v istoricheskoy retrospective [Ideas of economic zoning in historical retrospect] // Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 2: Gumanitarnyye nauki, Vol. 49, № 13, 2007. pp. 153-162. [in Russian].

27. Smirnyagin L.V. Metodicheskiye podkhody k rayonirovaniyu v obshchestvennoy geografii [Methodical approaches to regionalization in social geography] // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. № 6. 2011. pp. 13–19.

28. Ekonomicheskiye rayony Rossii [Economic regions of Russia]. (<https://geostudy.ru/economicregions.html>) [in Russian]

29. Gorbanev V. A., Kochurov B.I. Problemy territorialnogo rayonirovaniya Rossii: natsionalnyye i mezhdunarodnyye aspekty [The problem of territorial zoning of the russian federation: domestic and international aspects] // Vestnik MGIMO Universiteta, № 4(61), 2018, pp. 23-54 (doi: 10.24833/2071-8160-2018-4-61-23-54) [in Russian]

30. Vishnevskiy D.S., Demianenko A.N. Makroekonomicheskoye zonirovaniye kak metod strategicheskogo analiza: Dalniy Vostok Rossii [Macroeconomic Zoning as a Method of Strategic Analysis: The Russian Far East] // Prostranstvennaya ekonomika, № 4, 2010, pp. 6-31. [in Russian]

31. Bekuzarova N.V., Shumovskiy O.I. Ispolzovaniye interaktivnoy karty dlya formirovaniya istoricheskikh znaniy [Using of an interactive map for forming historical knowledge] // International Journal of Advanced Studies, Vol. 8, № 4, 2018, pp. 22-36 (doi: 10.12731/2227-930X-2018-4-22-36) [in Russian]

32. Official website of the European Commission. Macro-Regional Strategies. [Electronic resource]. URL: [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/policy/cooperation/macro-regional-strategies/](https://ec.europa.eu/regional_policy/en/policy/cooperation/macro-regional-strategies/)

33. Official website of the European Commission. The Territorial State and Perspectives of the European Union. 2011. Background document for the Territorial Agenda of the European Union 2020. [Electronic resource]. URL: [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/policy/what/territorial-cohesion/territorial\\_state\\_and\\_perspective\\_2011.pdf](https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/policy/what/territorial-cohesion/territorial_state_and_perspective_2011.pdf)

34. Seliverstov V.E. Regionalnoye strategicheskoye planirovaniye: ot metodologii k praktike [Regional strategic planning: from methodology to practice.]. Novosibirsk: IEOPP SO RAN, 2013. [in Russian]

35. Dubrovskaya J. V., Kozonogova E. V. The impact of digitalization on the demand for labor in the context of working specialties: Spatial analysis // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика, Vol. 37, № 3, 2021, pp. 395–412 (doi: 10.21638/spbu05.2021.302) (<https://doi.org/10.21638/spbu05.2021.302>).

36. Balina T.A., Nikolayev R.S., Osorgin K.S., Ponomareva Z.V., Stolbov V.A., Chekmeneva L.Yu. Evolyutsiya nauchnykh podkhodov k rayonirovaniyu Permskogo kraya: teoreticheskiye i metodologicheskiye aspekty [Evolution of scientific approaches to the zoning of perm

krai: theoretical and methodological aspects] // *Geograficheskiy vestnik*, № 3(58), 2021, pp. 45-62 (doi: 10.17072/2079-7877-2021-3-45-62) [in Russian]

37. Investments for growth & jobs. Promoting development and good governance in EU regions and cities / 6th Report on economic, social and territorial cohesion, July 2014. [Electronic resource]. URL: <https://www.abs.gov.au/statistics/standards/australian-statistical-geography-standard-asgs-edition-3/jul2021-jun2026/access-and-downloads/abs-maps>

38. Fan, Jie & Wei, Sun & Zhou, Kan. Major Function Oriented Zone: New method of spatial regulation for reshaping regional development pattern in China // *Chinese Geographical Science*, № 22, 2012 (doi: 10.1007/s11769-012-0528-y).

39. Karta klasterov RF [Map of clusters of the Russian Federation]. [Electronic resource]. URL: <https://map.cluster.hse.ru/>

40. Geoinformatsionnaya sistema industrialnykh parkov, tekhnoparkov i promyshlennykh klasterov [Geoinformation system of industrial parks, technoparks and industrial clusters]. (<https://gisp.gov.ru/gisip/>)

41. Official website of the Measure of America. Measure of America: A Program of the Social Science Research Council [Electronic resource]. URL: [https://measureofamerica.org/maps/?cd%5Eage\\_pyramid\\_total%5Eall\\_all%5EDemographics%5Edemographics](https://measureofamerica.org/maps/?cd%5Eage_pyramid_total%5Eall_all%5EDemographics%5Edemographics)

42. Official website of the Statistics Canada. Geography - Find information by region or area [Electronic resource]. URL: [https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/geo?geocode=A000261&subject\\_levels=32&geotext=Northwest%20Territories%20%5BTerritory%5D](https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/geo?geocode=A000261&subject_levels=32&geotext=Northwest%20Territories%20%5BTerritory%5D)

43. Official website of the Statistics New Zealand. New Zealand STATLAS [Electronic resource]. URL: <https://maps-by-statsnz.hub.arcgis.com/>

44. Official website of the European Statistical Office. Statistical atlas [Electronic resource]. URL: <https://ec.europa.eu/statistical-atlas/viewer/>

45. Official website of the Australian Bureau of Statistics. ABS Maps [Electronic resource]. URL: <https://www.abs.gov.au/statistics/standards/australian-statistical-geography-standard-asgs-edition-3/jul2021-jun2026/access-and-downloads/abs-maps>.

46. Hidalgo C., Klinger B., Barabasi A.-L., Hausmann R. The product space conditions the development of nations // *Science*, Vol. 317 (5837), 2007, pp. 482–487.

47. Hidalgo C., Hausmann R. The building blocks of economic complexity // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, № 106 (26), 2009, pp. 10570–10575.

48. Hausmann, R., Hidalgo, C., Bustos, S., Coscia, M., Simoes, A., & Yildirim, M. *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity*. Massachusetts Institute of Technology and Center for International Development, Harvard University. 2013. [Electronic resource]. URL: [https://books.google.ru/books?id=cp-NAgAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.ru/books?id=cp-NAgAAQBAJ&redir_esc=y).

49. Balland P.A., Boschma R., Crespo J., Rigby D.L. Smart specialization policy in the European Union: relatedness, knowledge complexity and regional diversification // *Regional Studies*, Vol. 53 (9), 2019, pp. 1252–1268.

50. Kryukov, V.A. Izucheniye voprosov prostranstvennogo razvitiya v kontekste evolyutsionnogo podkhoda [Studying the issues of spatial development in the context of the evolutionary approach] // Speech at the XVIII autumn conference of young scientists, Novosibirsk, 2022 [in Russian].

51. Dubrovskaya J., Kozanogova E. Modeling the spatial development of the economy on the basis of perspective interregional cooperation and specialization // *Proceedings of the 14th international management conference "Management Sustainable Organizations"* 5th–6th November, 2020, Bucharest, Romania, pp.1040-1052. DOI: 10.24818/IMC/2020/05.14.

52. Prostranstvennoye razvitiye RF [Spatial development of the Russian Federation] [Electronic resource]. URL: <http://ruclusters.ru> (дата обращения 05.02.2023) [in Russian].

53. Vizualizatsiya grafov «Graphviz» [Visualization of graphs "Graphviz"] [Electronic resource]. URL: <https://www.graphviz.org/> (дата обращения 24.01.2022).

54. Dubrovskaya, J., Kozonogova, E., Pestereva, T. Evaluation of the State Strategy of Spatial Development Effectiveness of the Russian Federation: A Cluster Approach/ Eurasian Economic Perspectives : Proceedings of the 28rd Eurasia Business and Economics Society Conference. Coventry. UK, 2019, pp. 131-140.