МЕТОДИКА РЕГИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 911.3:33: 340

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМ АДМИНИСТРАТИВНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ДЕЛЕНИЯ СТРАН

© 2020 С.А. Тархов[1,2*], А.А. Королёв[3]**

[1] Институт географии РАН, Москва, Россия

[2] Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

[3] Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ВИМС), Москва, Россия.

**e-mail: tram.tarkhov@gmail.com*

***e-mail: polubog1@mail.ru*

Рассмотрены основные пространственные параметры систем административно-территориального деления (АТД): контактное число (число соседей), транспортная проницаемость (среднее расстояние между соседними пересечениями границы транспортными путями), форма ячеек административно-территориального деления (ряд индексов, в том числе индекс Мортона), индексы Канского (связности и формы), описывающие особенности топологической структуры системы АТД. Разъяснены основные понятия теории графов, которые применяются для описания уровня пространственной (топологической) сложности систем АТД: вершины, ребра, цикл (замкнутый контур), степень вершины, топологический центр сети, циклический остов, топологический ярус. Для анализа пространственной структуры сетки АТД 9 стран мира 1-го уровня иерархии использована методика выделения топологических ярусов в циклическом остове ячеек АТД. На примере сетки графств США выявлено максимальное число таких ярусов для 2-го уровня иерархии системы АТД – 20. На другом примере – АТД Испании – показана вариация числа топологических ярусов в системе АТД в зависимости от уровня иерархии его ячеек: при анализе системы АТД только 1-го уровня иерархии выделяется 2 таких яруса, 2-го уровня иерархии – 3 яруса, 3-го уровня – 7 ярусов, 4-го уровня иерархии – 24 топологических яруса. Выявлены 5 основных типов топологической структуры национальных систем АТД: компактные округлые, компактные, вытянутые с отдельными расширениями, вытянутые с параллельными связями, линейно вытянутые с усеченным циклическим остовом.

Ключевые слова: административно-территориальное деления, топологическая структура, контактное число, транспортная проницаемость, индексы формы, индекс Мортона, топологические ярусы.

DOI: 10.5922/1994-5280-2020-2-5.

Введение и постановка проблемы. Административно-территориальное деление (АТД) – разделение территории страны (региона) на части, называемые административно-территориальными единицами (АТЕ). Это разделение охватывает всю территорию без остатка. Пространственную организацию АТД изучает география административно-территориального деления [15]. Важным ее направлением является пространственный анализ структуры АТД. Однако изучение пространственной структуры систем АТД географами до сих пор проводилось в недостаточной степени. Именно этому и посвящена настоящая статья, в которой после обзора ряда традиционных методов изучения пространственной структуры сеток АТД предложена и апробирована новая методика их анализа с помощью топоморфологического подхода,

разработанного при изучении топологической структуры транспортных сетей.

Обзор ранее выполненных исследований. Публикации по географии административно-территориального деления стран, вышедшие за последние 15–20 лет, многочисленны. Большинство из них посвящено описанию этапов формирования систем АТД, их реформ, размеров АТЕ. Вышло немало работ по АТД отдельных стран – Болгарии [10], Бразилии [33], Дании [17], Индии [8; 11], Молдавии [5], Нигерии [31], Польши [20], России [7; 16; 19], Румынии [32], Финляндии [9].

Но в этих работах не проводился пространственный анализ самой сетки АТЕ. Лишь в статье С.Н. Соколова [12] использовался метод ближайшего соседства при изучении распределения административных центров России по уровням ближайшего соседства.

Тем не менее, в более ранний период (1960–1980-е гг.) вышли отдельные публикации, посвященные эмпирическому анализу числа контактов АТЕ в ряде стран и регионов [6; 29] либо количественному измерению форм АТЕ [18; 27; 30]. После длительного перерыва почти в 35 лет интерес к изучению разнообразия форм и анализу вариаций АТЕ вернулся, о чем свидетельствуют работы А.П. Васильева [1–4]. Им эмпирически проанализированы вариации значений индекса формы Мортона для АТЕ низового и промежуточных уровней иерархии АТД Франции, Германии, Хорватии как в статике, так и в динамике за длительный период.

В отечественной и иностранной географической литературе фактически не изучался уровень сложности топологического устройства систем АТД на страновом или региональном уровнях. В настоящей статье показаны возможности применения теории графов для анализа пространственной структуры сеток АТД стран и регионов.

Материалы и методика исследования. Пространственными параметрами системы АТД являются контактное число (или коэффициент соседства), уровень транспортной проницаемости (барьерности) границ АТЕ, форма (конфигурация) АТЕ, максимальный диаметр ячейки АТЕ.

Наиболее сложным пространственным параметром системы АТД является ее топологическая структура, т.е. взаиморасположение всех ее ячеек друг относительно друга. Последняя лучше всего описывается числом топологических ярусов в циклическом остове сетки АТЕ, а также значениями топологического диаметра, топологического радиуса, нахождением топологического центра сети АТЕ и степени топологического эксцентриситета административного центра АТЕ по отношению к конфигурации ее границы.

Кратко опишем ниже суть каждого из этих параметров.

Контактное число N_C рассчитывается как число контактов (соседей) каждой ячейки АТД. Значения этого показателя варьируют обычно от 5 до 7, а среднее число контактов АТЕ стремится к 6. Так, эмпирические исследования числа соседей АТЕ 2-го уровня показали, что в Бангладеш среднее число контактов составляет 5,7, во Франции – 5,67 [29]. Ю. Кадзикава [6], проанализировавший структуру соседства 26 префектур Японии, установил, что это число составляет 5,5, а для феодальных государств средневековой Японии – 5,9, префектур той эпохи – 5,8 и общин – 5,5. Брайан Массам [27] при оценке форме 54 ареалов ячеек в провинции Онтарио получил в среднем для 26 ареалов значение 5,85 и для 6 ареалов – 6,0. Д. Легра [25] при изучении коммун Золотой Долины Бургундии (Кот-д'Ор) выявил, что число контактов для каждой коммуны составляло в среднем 5,67 и варьировало между 5,44 и 6,09.

Для расчетов можно использовать также относительный показатель – индекс контактности соседей, т.е. отношение числа контактов АТЕ с соседними АТЕ того же порядка к площади АТЕ $Ic = N_C / A$, где N_C – контактное число, A – площадь АТЕ в км^2.

Транспортная проницаемость характеризует транспортную связность АТЕ с соседними единицами, степень ее внешней открытости или закрытости, потенциал развития внешних связей. Она измеряется показателем $K = P / n$ (введен в [13]), где P – периметр контура АТЕ, n – число автодорожных, железнодорожных и воднотранспортных пересечений границ АТЕ. Если ареал АТЕ островной, то вместо сухопутных пересечений его границы берется число портов на берегу; в случае смешанного типа АТЕ (водно-сухопутный) берутся как сухопутные транспортные пересечения границы ареала, так и порты на берегах акваторий.

Таблица 1. Вариации значений транспортной проницаемости границ (К*) АТЕ 1-го уровня иерархии ряда стран и регионов мира

Очень высокий уровень проницаемости К = 2–16	Высокий уровень проницаемости К = 19–30	Средний уровень проницаемости К = 32–70	Низкий уровень проницаемости К = 90–300	Крайне низкий уровень проницаемости К = 300–1610
Род-Айленд – 2 Бавария – 3 Ставропольский – 6 Пьемонт – 6 Нью-Джерси – 7 Баскония – 8 Лигурия – 9 Иль-де-Франс – 10 Кампания – 10 Шлезвиг-Гольштейн – 11 Массачусетс – 11 Чувашия – 12 Гессен – 12 Цзянсу – 14 Пензенская – 15 Коннектикут – 15 Баден-Вюртемберг – 15 Индиана – 16 Эмилия-Романья – 16	Кентукки – 19 Огайо – 19 Керала – 19 Сев. Каролина – 20 Саксония-Анхальт – 20 Курская – 20 Смоленская – 20 Белгородская – 21 Джорджия – 21 Колорадо – 21 Липецкая – 22 Брянская – 22 Мичиган – 22 Бранденбург – 22 Аньхой – 23 Виргиния – 25 Сев. Осетия – 26 Рейнланд-Пфальц – 26 Владимирская – 28 Чечня – 29 Миссури – 29 Тамбовская – 29 Луизиана – 30 Уэльс – 30 Тироль – 30	Граубюнден – 32 Калифорния – 32 Фуцзянь – 32 Мекленбург – Передняя Померания – 33 Удмуртия – 34 Самарская – 37 Рязанская – 40 Хубэй – 40 Висконсин – 43 Вашингтон – 44 Махараштра – 44 Ленинградская – 44 Псковская – 46 Шаньдун – 50 Техас – 51 Тульская – 52 Кемеровская – 53 Костромская – 59 Ляонин – 65 Ганьсу – 70	Сычуань – 90 Курганская – 106 Альберта – 112 Челябинская – 115 Иркутская – 123 Приморский край – 138 Новгородская – 140 Томская – 147 Брит. Колумбия – 148 Омская – 150 Архангельская – 150 Новосибирская – 215 Сахалин – 257 Внутренняя Монголия – 263 Бурятия – 276 Амурская – 296	Аляска – 364 Хабаровский край – 544 Чукотский АО – 595 Северо-Западные территории (Канада) – 1010 Якутия – 1612

* К измеряется числом километров между соседними пересечениями границы АТЕ транспортными путями.

Физический смысл показателя *К* – среднее расстояние (в км) между соседними пересечениями границы транспортными путями. Чем значения *К* больше, тем более закрыта АТЕ во вне и менее связана с соседями; чем значения К меньше, тем АТЕ открыта во вне и теснее связана с соседями. Значения *К* варьируют в зависимости от географического положения, уровня хозяйственной освоенности, степени барьерности территории, изолированности от соседних территорий и степени социально-экономической связности ячеек АТЕ с соседними (см. табл. 1; представленная выборка случайная). По естественным разрывам нами выделены пять групп значений *К* – с очень высоким, высоким, средним, низким и крайне низким уровнем проницаемости границ.

Для описания ***формы*** (конфигурации) АТЕ существуют 4 группы показателей, характеризующих степень ее компактности [24; 26; 28]: 1) периметрально-площадные, когда рассчитываются соотношения периметра и площади фигуры; 2) соотношения с параметрами равновеликих окружностей; 3) соотношения с некоторой стандартной формой, т.е. выявляются отклонения от этой формы; 4) меры рассеяния элементов территории вокруг центральной точки.

К *первой группе* относятся 4 показателя:

$S_1 = A / 0{,}282 * P$, где A – площадь фигуры, P – ее периметр;

$S_2 = A / 0{,}866\ L$, где A – площадь фигуры, L – самая длинная ось фигуры – наибольшее расстояние между максимально отдаленными точками границы ареала (отражает вытянутость ареала);

$S_3 = A / \pi\ (0{,}5 * L)^2$, где A – площадь фигуры, L – длинная ось фигуры; иначе этот показатель называется индексом Мортона (на равнине значения индекса Мортона варьируют в пределах 0,64–0,83 (формы массивные, близкие к шестиугольным), на горных склонах его значения равны 0,16–0,38). Упрощенной разновидностью индекса Мортона является индекс формы;

$S_4 = 1{,}27 * A / L^2$, где A – площадь ареала (км^2), L – наибольшее расстояние между максимально отдаленными точками границы ареала, а 1,27 – постоянный коэффициент. Значения этого индекса варьируют от 0 (при форме, близкой к линейной) до 1 (при форме, близкой к кругу). Если форма ареала близка к треугольнику, значение индекса формы равно 0,42; близка к квадрату – 0,64; если форма ареала близка к шестиугольнику, значение индекса формы равно 0,82; если она является кругом, то значение равно 1,0. В сетках АТД доминируют формы типа треугольников и прямоугольников.

Ко *второй группе* показателей, описывающих форму ячеек АТД, относятся:

$S_5 = R_1 / R_2$, где R_1 и R_2 – радиусы окружности, вписанной внутри фигуры (R_1) и описанной вокруг нее (R_2);

$S_6 = D * 2 \sqrt{A} / \pi / d * L$, где D – диаметр равновеликого круга, A – площадь фигуры, d – диаметр описанного круга, L – длинная ось фигуры.

Индекс кругообразности АТЕ рассчитывается по формуле:

$S_7 = A / A_C$, где A – площадь ячейки АТД, A_C – площадь круга с длиной окружности равной периметру ячейки АТД.

Индекс меры рассеяния элементов территории вокруг центральной точки называется индексом Бойса – Кларка и рассчитывается следующим образом [21; 24]:

$S_8 = \sum | r_i / \sum r_i * 100 - 100 / n |$, где r_i – длина i-того радиуса, проведенного из геометрического центра фигуры до ее границы, n – число радиусов.

Используя различные варианты индексов формы, количественно можно описывать все существующие формы АТЕ. Чаще всего исследователями используется наиболее простой индекс формы Мортона S_4.

Д. Гриффит с соавторами [22], сравнив разные индексы форм, пришли к выводам, что они не очень эффективны при описании особенностей контура ареалов; корреляционная связь между свойствами формы и функциональными параметрами ареалов слабая.

Топологическая структура сети АТД. Для анализа топологической структуры сети ячеек АТД (т.е. связности и характера из взаиморасположения) любого уровня иерархии можно использовать основные понятия и индексы теории графов.

Граф (G) – совокупность непустого множества вершин (V) и наборов пар вершин (ребер) (E), $G = (V, E)$.

Каждой ячейке АТД соответствует вершина графа, а наличие соседства с другой ячейкой АТД отображается ребром. Граф системы АТД показывает все соседские связи, а понятие теории графов «степень вершины» соответствует контактному числу (числу ячеек АТД, граничащих с изучаемой ячейкой).

Цикл – конечная последовательность ребер и соответствующих им вершин, в которой начальная и конечная вершина совпадают, а остальные различаются. Независимый цикл – цикл, не заключающий в себе других циклов.

Преобразование сетки АТЕ в граф позволяет рассчитать значения индексов связности «бетта» и формы «пи» Карела Канского [23], среднюю степень вершины всей сети АТД.

Так индекс связности β отображает среднюю густоту связей одной вершины с другими и рассчитывается по формуле $\beta = e / v$, где e – число ребер в сети, v – число вершин. Если циклов (замкнутых контуров) в сети ячеек АТД нет, то его значения варьируют в пределах $0{,}6 < \beta < 0{,}99$ (таких систем АТД, фактически, не бывает, поскольку сети АТЕ циклические, то есть содержат в себе много циклов). Если граф состоит из 1 цикла (замкнутого контура), то $\beta = 1{,}0$, а при дальнейшем возрастании числа циклов в сети значения этого показателя увеличиваются до 1,3–1,5. В наиболее сложных циклических сетях он достигает значения $\beta = 3$. Таким образом, этот индекс очень чутко реагирует на появление циклов в сети.

Индекс формы сети $\pi = e / \delta$, где e – число ребер в сети ячеек АТД, δ – ее топологический диаметр (измеряется числом ребер по кратчайшему расстоянию между наиболее удаленными вершинами сети), отражает степень вытянутости и округлости сети (т.е. сколько раз в протяженности сети укладывается ее топологический диаметр). Его значения варьируют в пределах $1 < \pi < 30$ в зависимости от размера и формы (конфигурации) сети ячеек АТД. В сетях среднего уровня сложности он колеблется от 2 до 4, для сетей-деревьев близок к 1, а в наиболее сложных сетях превышает 4. Чем более вытянута страна (или регион), тем меньше значения π; чем более она округла по форме, тем значения π больше. Именно по этой причине этот индекс и получил название индекса формы.

После преобразования сети АТЕ в граф появляется возможность количественной оценки ряда ее топологических параметров: средней степени вершины, топологического диаметра и топологического радиуса; определения топологического центра сети АТЕ и степени топологического эксцентриситета административного центра АТЕ по отношению к границе всей системы АТД; выделения в циклическом остове (скоплении циклов) топологических ярусов (терминология предложена одним из авторов статьи [14]).

Если при расчете контактного числа не учитываются ячейки АТД, расположенные на внешней границе ареала (страны, региона), то при применении теории графов учитываются все ячейки АТД.

Эмпирический анализ топологической структуры систем АТД 9 стран (была проанализирована топологическая структура сетки их АТЕ 1-го уровня иерархии) показал, что чем компактнее и округлее форма страны, тем выше значение ***средней степени вершины***: во Франции она равна 2,48, в Эфиопии – 2,45, Иране – 2,37, Афганистане – 2,31. Чем более вытянута конфигурация страны (региона), тем значения степени вершины меньше: в системе АТД 1-го уровня иерархии Вьетнама ее значение составляет 2,14, Японии – 1,89, Чили – 1,63, Норвегии – 1,58.

Топологический центр системы в компактных по форме странах близок к геометрическому центру страны / столице (или расположен не столь далеко от него): во Франции – в департаменте Шер к югу от Парижа, в Эфиопии – вблизи Аддис-Абебы, в Афганистане – к западу от Кабула, в Иране – в Исфахане (старой столице страны; достаточно далеко, к юго-востоку от Тегерана, новой столицы). Топологический центр системы АТД в странах с вытянутой формой чаще всего расположен на окраине, т.е. в них налицо явный эксцентриситет: так в Норвегии он расположен на юге (правда, вблизи Осло, к юго-западу от него – в фюльке Бускеруд); в Японии – на юге, в префектуре Миэ, ближе к старой столице Киото; в Чили – на берегу океана (но в центре страны). Во Вьетнаме он находится в самом центре страны несмотря на то, что обе столицы – Ханой и Хошимин (бывший Сайгон) – расположены на ее окраинах.

Выделение топологических ярусов[1] в циклическом остове[2] (методика описана в [14]) позволяет рассчитать не только степень вершины, но и обнаружить топологический центр системы, удаленность ячеек АТД от центра системы, а также определить уровень пространственной надежности системы АТД: чем больше топологических ярусов в циклическом остове выделяется, тем выше уровень этой надежности.

Чем компактнее конфигурация страны (региона) и в ней больше единиц АТД, тем больше число топологических ярусов в циклическом остове системы. Наоборот, чем вытянутее конфигурация, тем их меньше.

Полученные результаты исследования.

Эмпирический анализ топологической структуры систем АТД был проведен по 9 странам с разной конфигурацией.

У компактных систем АТД (в Эфиопии выделено 6 топологических ярусов, Франции – 4, Ирана и Афганистана – по 3) число топологических ярусов АТЕ 1-го уровня оказалось больше, чем у стран с вытянутой конфигурацией (Чили и Вьетнам – 3, Япония и Норвегия – 2).

Для систем АТД 9 этих стран были выделены топологические ярусы для 1-го

[1] Топологический ярус – двухмерный объект, выделяющийся в графе G, ограниченный своими внешней и внутренней (если таковая существует) границами и имеющий порядковый номер i ($i \in N$). Топологические ярусы в графе (G) выделяются последовательно, начиная с первого ($i = 1$). Внешней границей 1-го топологического яруса в графе G является совокупность ребер, образующих периметр максимального по площади цикла графа. Чтобы выделить внешнюю границу 2-го топологического яруса, из графа G сначала удаляются все вершины и инцидентные им ребра, входящие во внешнюю границу 1-го топологического яруса, а затем применяют алгоритм, аналогичный представленному для 1-го топологического яруса. Внешней границей i-го топологического яруса является совокупность ребер, образующих периметр максимального по площади цикла графа G, из которого удалены вершины и инцидентные им ребра, входящие во внешние границы топологических ярусов с порядковыми номерами меньше i. Внутренней границей i-го топологического яруса является внешняя граница (i+1)-го топологического яруса. Последний выделяемый топологический ярус имеет только внешние границы, но не имеет внутренних. Если внешняя граница топологического яруса состоит из нескольких, не связных друг с другом частей (топологический остов разделен), то внутренние границы этого топологического яруса выделяются для каждой из частей отдельно, а сам топологический ярус будет состоять из нескольких 2-мерных объектов. Исходя из вышесказанного, i-й топологический ярус обладает следующими характеристиками: площадь, периметр (внешний – сумма длин ребер внешней границы; внутренний – сумма длин ребер внутренней границы), количество независимых циклов, количество непересекающихся частей.

[2] Циклический остов (скопление замкнутых циклов) – совокупность всех топологических ярусов сети. В конкретной сетке АТД можно выделить только одно число таких ярусов.

Таблица 2. Вариации значений средней степени вершины и доли каждого топологического яруса систем АТД в площади 9 стран

Страна	Топологический центр графа (ячейка АТД)	Средняя степень вершины	Доля каждого топологического яруса в общей площади циклического остова (%%)				
			1-го	2-го	3-го	4-го	5-го
Афганистан	Бамиан	2,31	71,02	25,06	3,19	–	–
Вьетнам	Хюэ	2,14	81,81	16,52	1,67	–	–
Иран	Исфахан	2,37	50,11	47,38	2,51	–	–
Норвегия	Бускеруд	1,58	93,02	6,98	–	–	–
Франция	Шер	2,48	46,25	29,46	18,08	6,21	–
Чили	Карденал Каро	1,63	98,66	1,27	0,07	–	–
Эфиопия	Вост. Шева	2,45	59,36	28,25	11,27	1,12	0,003
Япония	Миэ	1,89	86,11	13,89	–	–	–

Рассчитано А.А. Королёвым.

и 2-го уровней иерархии АТЕ одновременно. В странах с округлой и компактной формой доля площади, покрытая 1-м топологическим ярусом, незначительна – 45–60% всей территории страны (см. табл. 2): Франция – 46%, Иран – 50%. В странах с вытянутой конфигурацией доля площади, покрытая 1-м топологическим ярусом, весьма значительна – на нее приходится 86-98%: в Чили – 98%, Норвегии – 93%, Японии – 86%.

В сетке графств США обнаружены 20 топологических ярусов. Топологический центр системы графств США находится на Центральных равнинах. На карте (см. рис. 1) четко видны более широкие полосы разреженности топологических ярусов на западе и более узкие со сгущением графств на востоке и северо-востоке.

Для выявления максимального уровня сложности топологической структуры систем АТД была взята Испания (страна с 4-уровневой системой иерархии АТЕ) и сконструированы соответствующие графы, в циклических остовах которых выделены все топологические ярусы (см. рис. 2–5).

Оказалось, что, в зависимости от числа учитываемых уровней иерархии АТЕ Испании, получаются совершенно разные резуль-

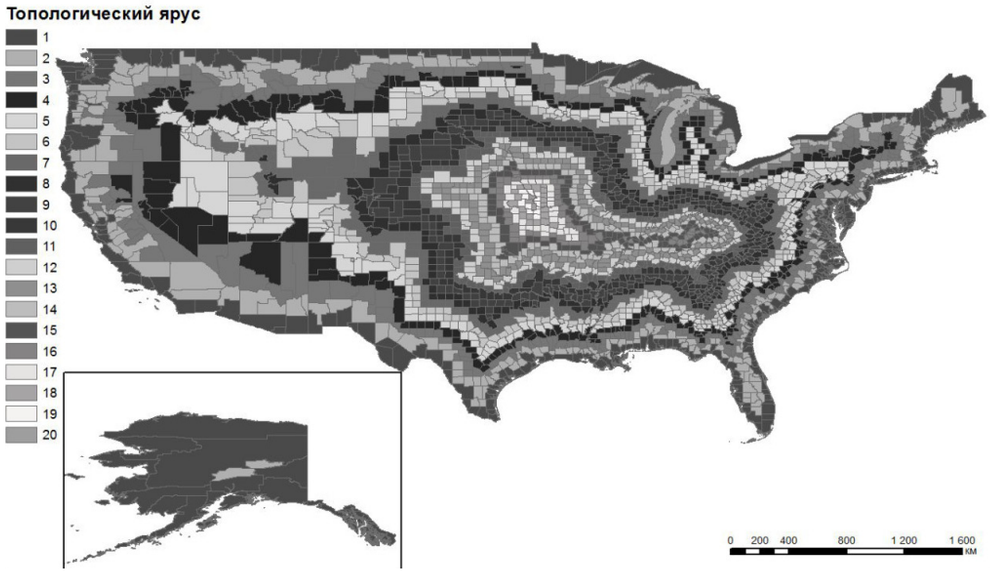

Рис. 1. Топологические ярусы в сети АТЕ 2-го звена США (графства)

Авторы: А.А. Королёв и Е.А. Чебанова.

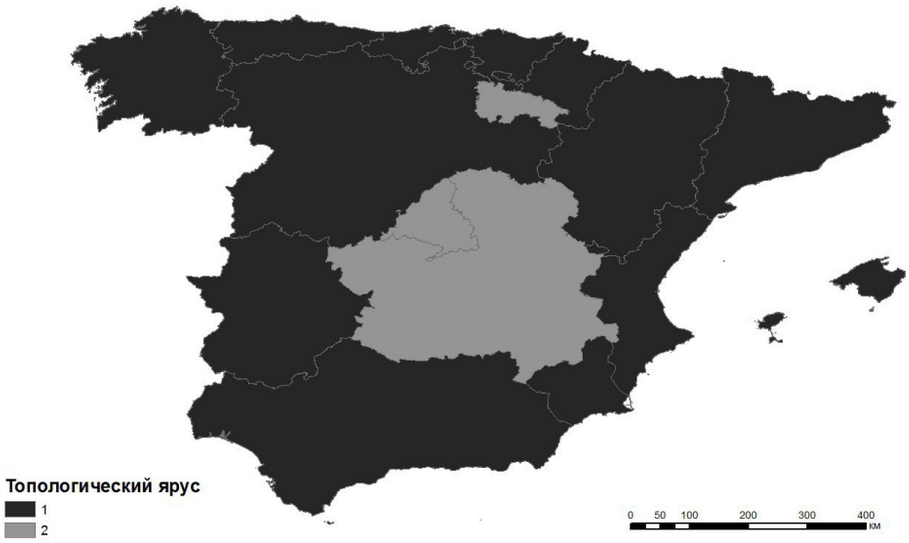

Рис. 2. Топологические ярусы в сети АТЕ 1-го уровня иерархии Испании (два яруса, топологический центр сети охватывает Месету и Риоху)
Авторы: А.А. Королёв и Е.А. Чебанова.

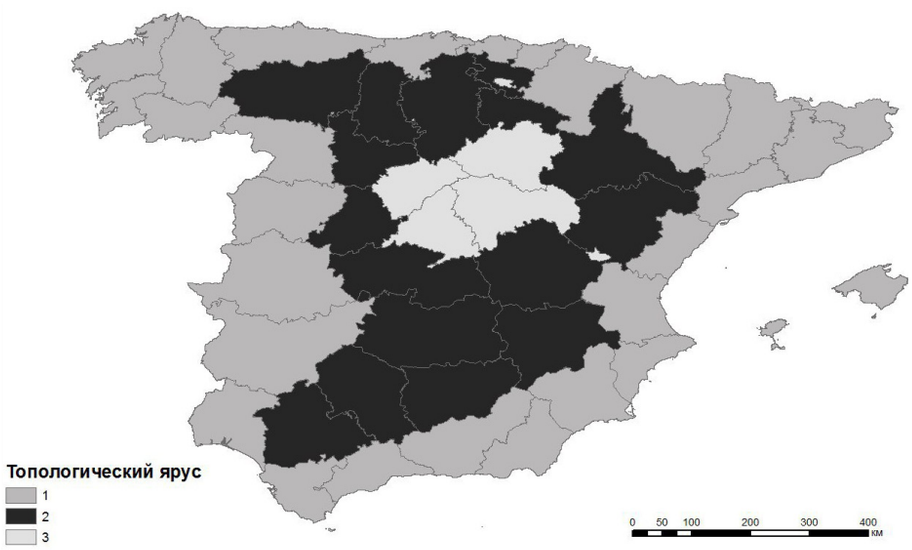

Рис. 3. Топологические ярусы в сети АТЕ 2-го уровня иерархии Испании (3 яруса, топологический центр сети охватывает Старую Кастилию)
Авторы: А.А. Королёв и Е.А. Чебанова.

таты как в самой структуре топологических ярусов, так и в расположении топологического центра системы (достаточно сравнить положение самых внутренних топологических ярусов циклического остова на картах, представленных на рисунках 2–5).

В системе АТЕ 1-го уровня выделяются всего 2 топологических яруса, а топологический центр расположен в центре страны. В системе АТЕ 2-го уровня выделяются 3 топологических яруса, а топологический центр системы смещается в центрально-северную часть страны. В системе 3-го уровня АТЕ выделяются 7 топологических ярусов, а ее топологический центр вновь оказывается в центре страны. В системе АТЕ 4-го уровня иерархии

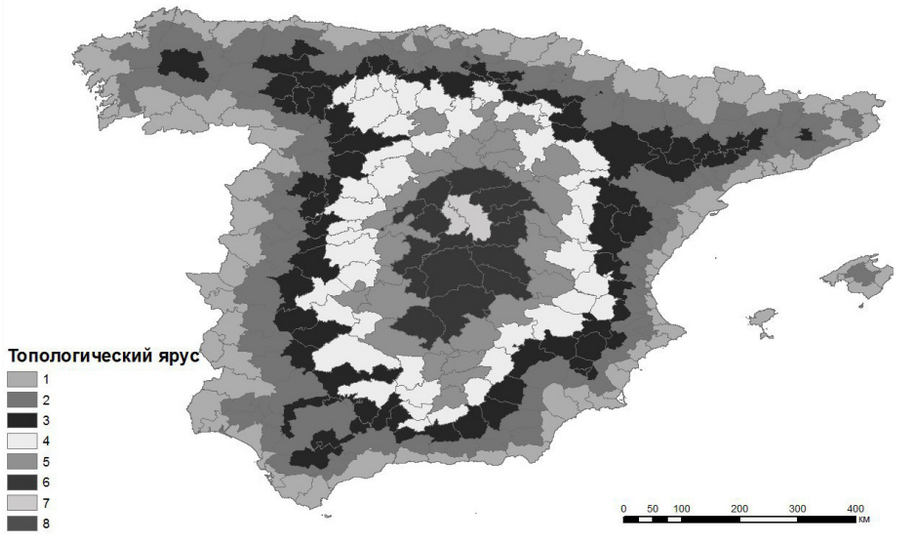

Рис. 4. Топологические ярусы в сети АТЕ 3-го уровня иерархии Испании
(7 ярусов, топологический центр сети охватывает Мадрид и Новую Кастилию)
Авторы: А.А. Королёв и Е.А. Чебанова.

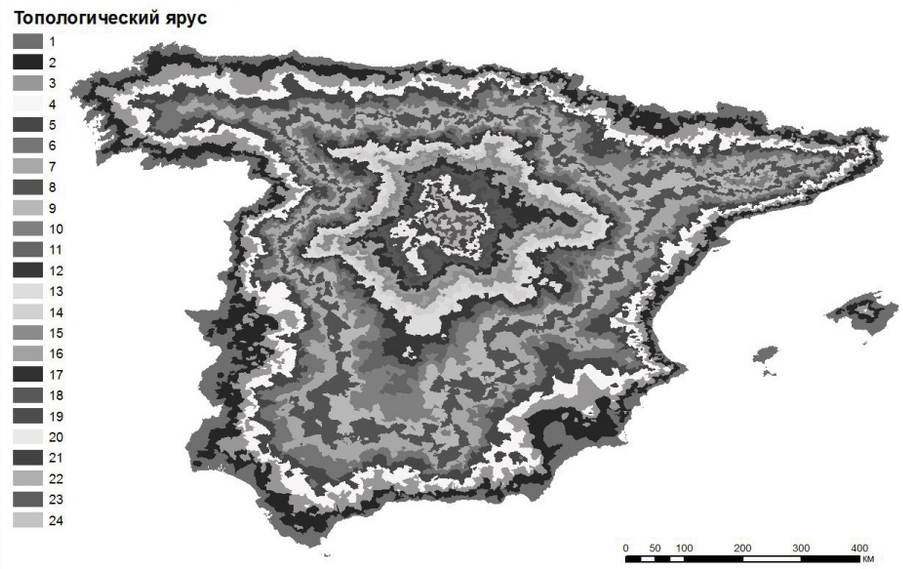

Рис. 5. Топологические ярусы в сети АТЕ 4-го уровня иерархии Испании
(24 яруса, топологический центр сети охватывает Мадрид и окрестности)
Автор: А.А. Королёв и Е.А. Чебанова.

выделяются 24 топологических яруса, а ее топологический центр остается там же.

Таким образом, при изучении топологической структуры АТД 9 стран разной формы (округлой, прямоугольной, вытянутой) нами были выявлены следующие ее типы:

1) ***компактно-округлые***, имеющие циклический остов с 4–5 топологическими ярусами (Эфиопия, Франция);

2) ***компактные*** с небольшой вытянутостью; имеют циклический остов с 3–4 топологическими ярусами (Иран, Афганистан);

3) ***вытянутые с*** отдельными ***компактными расширениями*** в разных частях (Вьетнам);

4) ***вытянутые*** с ***параллельными связями*** (Япония);

5) ***линейно вытянутые*** с **усеченным** циклическим **остовом**, расположенным только

в одной части страны (Норвегия – на юге, Чили – в центре).

Выводы. Топологический анализ строения сеток административно-территориального деления позволяет определять контактное число (степень вершины) в системе АТЕ любого уровня иерархии; топологическую удаленность (максимальную, среднюю и минимальную) до всех остальных ячеек изучаемой системы; топологический центр и эксцентриситет; уровень пространственной надежности всей системы (зависит от числа топологических ярусов в системе); тип пространственной структуры сети АТД.

Описанный выше метод анализа топологической структуры систем АТД особенно ценен при изучении изменений ее сеток за длительный период, так как позволяет обнаружить в каком направлении перемещается топологический центр всей системы, насколько усложняется во времени сама пространственная структура АТД. Он, таким образом, дополняет центрографический метод, который куда более трудоёмок при расчетах, чем топологический.

Предложенная в статье методика изучения топологической структуры сеток АТД стран может применяться не только на страновом, но и на внутристрановом и внутрирегиональном уровнях, а также при изучении особенностей пространственной организации систем АТД на уровне низовых единиц 3–5 уровней иерархии, внутригородских сеток административного деления с большим их числом, т.е. для крупнейших городов и городских агломераций, мегалополисов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках научно-исследовательской темы Института географии РАН «Проблемы и перспективы территориального развития России в условиях его неравномерности и глобальной нестабильности» (№ 0148-2019-0008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев А.П.* Закономерности эволюции систем коммун Франции и общин Германии // Региональные исследования. 2018. № 1. С. 135–143.
2. *Васильев А.П.* Пространственные закономерности эволюции административно-территориального деления Германии // Изв. РАН. Сер. геогр. 2018. № 3. С. 26–36.
3. *Васильев А.П.* Пространственные закономерности эволюции административно-территориального деления Пруссии в XIX–XX веках // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2018. № 2. С. 60–66.
4. *Васильев А.П.* Пространственные закономерности эволюции административно-территориального деления Хорватии // Социально-экономическая география. Вестн. ассоц. росс. географов-обществоведов. 2018. № 7. С. 237–249.
5. *Герцен А.А.* Административно-территориальное деление Молдавии в контексте историко-географических исследований Карпато-Днестровья // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 2. С. 25–39.
6. *Кадзикава Юсаку.* Количественный показатель контактности административных территорий Японии // Тиригаку хёрон, Chirigaku hyoron. 1973. 46. № 3. С. 211–215 [японский язык; реферат 7И31 в РЖ География. 1973].
7. *Крылов М.П.* О социальном значении некоторых мер по реформированию регионального устройства // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 3. С. 103–109.
8. *Лебедев В.Б.* Реорганизация системы административно-территориального деления Индии в конце 1990-х годов // Изв. РАН. Сер. геогр. 2001. № 6. С. 61–70.
9. *Мартынов В.Л.* Опыт реформирования административно-территориального деления Финляндии // Псковский регионологический журнал. 2012. № 14. С. 201–205.
10. *Павлов А.* Административно-територіалните деления и Разградският край // Проблеми на географията (София). 2007. № 1–2. С. 142–151.
11. *Паршина Л.С.* Индия – Союз штатов: разделение компетенций природопользования // Проблемы региональной экологии. 2019. № 2. С. 82–86.
12. *Соколов С.Н.* Пространственная структура распределения административных центров России // Географические исследования на Дальнем Востоке: Мат-лы научн. конф., посвящ. 150-летию образования РГО. Владивосток, 1997. С. 82–84.
13. *Тархов С.А.* Территориальная связность административных районов Московского столичного региона // Московский столичный регион: Взаимодействие структурных элементов. М., 1983. С. 68–81.
14. *Тархов С.А.* Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск–М.: Универсум, 2005. 386 с.
15. *Тархов С.А.* Основные направления географического изучения административно-территориального деления // Региональные исследования. 2019. № 1 (63). С. 6–15. DOI: 10.5922/1994-5280-2019-1-2
16. *Тархов С.А.* Основные пространственные закономерности эволюции сетки административно-территориального деления России за 300 лет // Псковский регионологический журнал. 2019. № 4 (40). С. 16–33.

17. *Ткачук Д.В.* Административно-территориальное деление Дании в свете реформы местного самоуправления 2007 года // Мат-лы 14 Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (Москва, 11-14 апреля 2007 г.) Т. 1. Секция Биология, биоинженерия и биоинформатика, География, Почвоведение, Психология. Пущино, 2007. С. 261.
18. *Хаггет П.* Пространственный анализ в экономической географии. М.: Прогресс, 1968. 390 с.
19. *Шульгина О.В.* Формирование политической карты России: историко-географический анализ // Геодезия и картография. 2001. № 12. С. 26–33.
20. *Эберхардт П.* Изменения административно-территориального деления Польши в XX веке // Изв. РАН. Сер. геогр. 2001. № 6. С. 51–60.
21. *Bezak A., Horakova E.* Tvary podorysu slovenskych miest // Geografický časopis (Bratislava). 1984. Vol. 36. № 3. P. 243–251.
22. *Griffith Daniel A., O'Neill Michael P., O'Neill Wende A., Leifer Lloyd A., Mooney Rodric G.* Shape indices: useful measures or red herrings? // Professional Geographer. 1986. Vol. 38. № 3. P. 263–270.
23. *Kansky Karel J.* Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics // Chicago University. Department of Geography, Research Papers. 1963. № 84. 156 p.
24. La forme territorial de la Suisse: Essai quantitative en geographie politique // Geographica Helvetica. 1977. Vol. 32. № 1. P. 21–28.
25. *Legras D.* Analyse d'un mileu geographique II: Les donnes de surface en geographie humaine: la recherché de pavages. Application a la Cote d'Or // Cahiers geographiques Dijon. 1977. № 4. P. 47–83.
26. *Maceachren Alan M.* Compactness of geographic shape: comparison and evaluation of measures // Geografiska Annaler. 1985. Vol. B67. № 1. P. 53–67.
27. *Massam Bryan H.* A Note on Shape // Professional Geography. 1970. Vol. 22. № 4. P. 197–199.
28. *Mayer W.V.* Estudo sobre as formas dos municipios na regiao de Campinas // Boletim de geografia teoretica. 1976. Vol. 6. № 11–12. P. 41–65.
29. *Sajjadur Rasheed K.B.* A study of regional packing of administrative areas in Bangladesh // Oriental Geographer (Dacca). 1973. Vol. 17. № 1. P. 1–6.
30. *Sajjadur Rasheed K.B.* The spatial efficiency of administrative units in Bangladesh // Geografiska annaler. 1986. Vol. B 68. № 1. P. 21–28.
31. *Suss C.* Dossier pedagogique. L'evolution spatiale du maillage territorial au Nigeria (1906–1991) // Espace, populations, societes. 1999. № 1. P. 139–154.
32. *Tarkhov S.* Evolution of the administrative-territorial division of Romania during 20-th century// Political geography studies in Central and Eastern Europe. Oradea, 2001, P. 49–56.
33. *Toledo Martins Herbert.* As propostas de redivisao do estado nacional brasileiro // Geografia. 2015. Vol. 40. № 1. P. 35–51.

Статья поступила в редакцию 4 июня 2020 г.
Статья принята к публикации 29 июня 2020 г.

Об авторах

Тархов Сергей Анатольевич – доктор географических наук; ведущий научный сотрудник отдела социально-экономической географии Института географии РАН; ведущий научный сотрудник Высшей школы урбанистики факультета городского и регионального развития Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва.

Королёв Александр Александрович – старший разработчик Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ВИМС), г. Москва.

Для цитирования:

Тархов С.А., Королёв А.А. Пространственная структура систем административного деления стран // Региональные исследования. 2020. № 2. С. 63–74.

DOI: 10.5922/1994-5280-2020-2-5

Spatial structure of national administrative division's systems

S.A. Tarkhov[1,2] *, A.A. Korolev[3]**

[1] *Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*
[2] *National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia*
[3] *All-Russian Scientific-Research Institute of mineral resources, Moscow, Russia*
**e-mail: tram.tarkhov@gmail.com*
***e-mail: polubog1@mail.ru*

The spatial parameters of systems of administrative-territorial division (ATD) are considered: contact number (neighbors number), transportation permeability (average distance between neighbor intersection of administrative border by transportation routes), shapes of administrative-territorial units (some indices, including Morton index), graph theoretical indexes of Karel Kansky described the peculiarities of topological structures of ATD systems (connectivity and form). Main concepts of graph theory which are applied to describe the level of spatial (topological) complexity of ATD network are explained in detail: vertices, edges, circuit (closed round), vertices degree, topological center, circuital framework, topological tier. The technique of assignment of topological tiers in the circuital framework of ATD-system for the analysis of spatial structure of its network for 1st level of hierarchy of 9 nations is applied. Maximal number of topological tiers – 20 – for ATD system on 2nd level hierarchy is revealed on the example of the system of counties of U.S.A. The variation of numbers of topological tiers depending on the level of hierarchy of ATD is shown in the case of Spain: 2 – for 1st level hierarchy, 3 – for 2nd, 7 – for 3th, 24 – for 4th. 5 types of topological structure of national systems of ATD are distinguished: compact roundish, compact, elongated with particular distensions, elongated with parallel connections, linearly elongated with truncated circuital framework.

Keywords: administrative-territorial division, topological structure, contact number, transport permeability, shape indexes, Morton's index, topological tiers.

REFERENCES

1. Vasily'ev A.P. Systems of French communes and German municipalities: evolution patterns. *Regional'nye issledovaniya*, 2018, no. 1, pp. 135–143. (In Russ.).
2. Vasily'ev A.P. Evolution of the administrative division of Germany: spatial patterns. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2018, no. 3, pp. 26–36. (In Russ.).
3. Vasily'ev A.P. Spatial patterns of the evolution of the administrative division of Prussia in the 19th – 20th centuries. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 2018, no. 2, pp. 60–66. (In Russ.).
4. Vasily'ev A.P. Evolution of Croatian administrative division: spatial patterns. *Social'no-ekonomicheskaya geografiya. Vestnik Associatsii rossiyskikh geografov-obshchestvovedov*, 2018, no. 7, pp. 237–249. (In Russ.).
5. Gertsen A.A. Administrative-territorial division of Moldavia in the context of historical and geographical studies of Carpathian-Dniester region. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2010, no. 2, pp. 25–39. (In Russ.).
6. Kajikawa Yusaku The quantitative indicator of contact between administrative territories of Japan. *Chirigaku hyoron*, 1973, vol. 46, no. 3, pp. 211–215 (in Japanese; referat 7И3 in *Referativnyi zhurnal Geografiya*, 1973, no. 7).
7. Krylov M.P. On social meaning of some measures of the reformation of regional organization. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2013, no. 3, pp. 103–109. (In Russ.).
8. Lebedev V.B. New states of India: reorganization of administrative system in late 1990-s. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2001, no. 6, pp. 61–70. (In Russ.).
9. Martynov V.L. Experience of the reform of the administrative territorial division of Finland. *Pskovskiy regionologicheskiy zhurnal*, 2012, no. 14, pp. 201–205. (In Russ.).
10. Pavlov Angel. The administrative-territorial divisions and the Razgrad region. *Problemi na geografiyata (Sofia)*, 2007, no. 1–2, pp. 142–151. (In Bulgarian).
11. Parshina L.S. India – the union of states: sharing environmental competencies. *Problemy regional'noy ekologii*, 2019, no. 2, pp. 82–86. (In Russ.).
12. Sokolov S.N. Spatial distribution structure of administrative centers of Russia. In: *Geograficheskie issledovaniya na Dal'nem Vostoke: Materialy nauchnoy konferentsii, posvyashchenoy 150-letiyu obrazovaniya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Geographical studies in Russian Far East: Proceedings of scientific conference dedicated to 150-th anniversary of Russian Geographic Society]. Vladivostok, 1997, pp. 82–84. (In Russ.).
13. Tarkhov S.A. Territorial connectivity of the administrative districts of the Moscow metropolitan region. In: *Moskovskiy stolichnyi region: Vzaimodeystvie strukturnykh elementov* [Moscow capital region: interaction between structural elements]. Moscow, 1983, pp. 68–81. (In Russ.).
14. Tarkhov S.A. *Evolutsionnaya morfologiya transportnykh setey* [Evolutionary morphology of transportation networks]. Smolensk–Moscow: Universum Publ., 2005. 386 p. (In Russ.).
15. Tarkhov S.A. Key focuses in geographical studies of administrative division. *Regional'nye issledovaniya*, 2019, no. 1 (63), pp. 6–15. DOI: 10.5922/ 1994-5280-2019-1-2. (In Russ.).
16. Tarkhov S.A. Basic spatial regulations of the evolution of the network of the administrative territorial management of Russia for 300 years. *Pskovskiy regionologicheskiy zhurnal*, 2019, № 4 (40), pp. 16–33. (In Russ.).
17. Tkachuk D.V. Administrative division of Denmark in the light of the 2007 local government reform. In: *Materialy 14 Mezhdunarodnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Lomonosov», Moskva, 11-14 aprelya 2007 g. Tom 1. Sektsiya Biologiya, bioinzheneriya i bioinfomatika, Geografiya, Pochvovedeniye, Psikhologiya* [Proceedings of 14th International conference of students, graduate students and young scientists "Lomonosov", Moscow, 11–14 April 2007. Vol. 1. Section of biology, bioengineering and bioinformatics, geography, soil science, psychology]. Pushchino, 2007, p. 261. (In Russ.).
18. Hagget P. *Prostranstvennyi analiz v ekonomicheskoy geografii* [Spatial analysis in human geography]. Moscow: Progress Publ., 1968. 390 p. (In Russ.).
19. Shul'gina O.V. The formation of the political map of Russia: historical and geographical analysis. *Geodesiya i kartografiya*, 2001, no. 12, pp. 26–33. (In Russ.).

20. Eberhardt P. Changes in the administrative-territorial division of Poland in the twentieth century. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2001, no., pp. 51–60. (In Russ.).
21. Bezak A., Horakova E. Shapes of the floor plan of Slovak cities. *Geografický časopis* (Bratislava), 1984, vol. 36, no. 3, pp. 243–251. (In Slovakian).
22. Griffith Daniel A., O'Neill Michael P., O'Neill Wende A., Leifer Lloyd A., Mooney Rodric G. Shape indices: useful measures or red herrings? *Professional Geographer*, 1986, vol. 38, no. 3, pp. 263–270.
23. Kansky Karel J. *Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics*. Chicago University, Department of Geography, Research Papers, 1963, no. 84. 156 p.
24. La forme territorial de la Suisse: Essai quantitative en geographie politique. *Geographica Helvetica*, 1977, vol. 32, no. 1, pp. 21-28. (In French).
25. Legras D. Analyse d'un mileu geographique II: Les donnes de surface en geographie humaine: la recherché de pavages. Application a la Cote d'Or. *Cahiers geographiques Dijon*, 1977, no. 4, pp. 47–83. (In French).
26. Maceachren Alan M. Compactness of geographic shape: comparison and evaluation of measures. *Geografiska Annaler*, 1985, vol. B67, no. 1, pp. 53–67.
27. Massam Bryan H. A Note on Shape. *Professional Geography*, 1970, vol. 22, no. 4, pp. 197–199.
28. Mayer W.V. Estudo sobre as formas dos municipios na regiao de Campinas. *Boletim de geografia teoretica*, 1976, vol. 6, no. 11–12, pp. 41–65. (In Portuguese).
29. Sajjadur Rasheed K.B. A study of regional packing of administrative areas in Bangladesh. *Oriental Geographer* (Dacca), 1973, vol. 17, no. 1, pp. 1–6.
30. Sajjadur Rasheed K.B. The spatial efficiency of administrative units in Bangladesh. *Geografiska annaler*, 1986, vol. B 68, no. 1, pp. 21–28.
31. Suss C. Dossier pedagogique. L'evolution spatiale du maillage territorial au Nigeria (1906–1991). *Espace, populations, societies*, 1999, no. 1, pp. 139–154. (In French).
32. Tarkhov S. Evolution of the administrative-territorial division of Romania during 20-th century. In: *Political geography studies in Central and Eastern Europe*. Oradea, 2001, pp. 49–56.
33. Toledo Martins Herbert. As propostas de redivisao do estado nacional brasileiro. *Geografia*, 2015, vol. 40, no. 1, pp. 35–51. (In Portuguese).

Received 04.06.2020
Accepted 29.06.2020