ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ

Научная статья
УДК 911.8
doi: 10.17072/2079-7877-2021-4-6-17

СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛЬНЫХ МЕСТ: ФОРМИРОВАНИЕ ПОПУЛЯЦИОННОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУР

Руслан Васильевич Дмитриев[1, 2]
[1]Институт географии РАН, г. Москва, Россия
dmitrievrv@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4018-9832, Scopus Author ID: 57189906790, ResearcherID: M-9498-2013, SPIN-код: 5954-7620, Author ID: 245533
[2]Институт Африки РАН, г. Москва, Россия

Аннотация. Исследование носит методический характер и имеет целью отразить пошаговую последовательность анализа популяционной и пространственной структур системы центральных мест. Для распределения поселений по уровням иерархии автор предлагает использовать опорные таблицы, отражающие вклад каждого центрального места в накопленное значение параметра К. Мы постулируем, что теория центральных мест сама по себе позволяет распределить центральные места по уровням иерархии только лишь с опорой на численность их населения; для этого не требуются дополнительные конструкты вроде правила «ранг – размер» или привлечение механизма анализа центральных функций. В основу определения морфологического строения положен авторский принцип локальной предопределенности, в соответствии с которым в любой момент времени система центральных мест имеет оптимальную локально предопределенную пространственную структуру, не обязательно совпадающую с таковой в общетеоретическом отношении. Автор делает вывод о том, что устойчивой может быть любая система расселения – она лишь должна соответствовать теоретическому оптимуму для совокупности взаимодействующих разнопараметрических уровней, а не для равнопараметрической решетки в целом.

Ключевые слова: теория центральных мест; популяционная структура; пространственная структура; теоретический оптимум; принцип минимума потенциальной энергии

Благодарность. Статья подготовлена по материалам исследований по темам ГЗ Института географии РАН № 0148-2019-0008 и Института Африки РАН № 0192-2019-0021. Методика исследования разработана в рамках темы ГЗ № 0148-2019-0008; расчеты выполнены в рамках темы ГЗ № 0192-2019-0021.

Для цитирования: Дмитриев Р.В. Системы центральных мест: формирование популяционной и пространственной структур // Географический вестник = Geographical Bulletin. 2021. №4(59). С. 6–17. doi: 10.17072/2079-7877-2021-4-6-17.

THEORETICAL GEOGRAPHY
Original article
doi: 10.17072/2079-7877-2021-4-6-17

CENTRAL PLACE SYSTEMS: FORMATION OF THE POPULATION AND SPATIAL STRUCTURES

Ruslan V. Dmitriev[1, 2]
[1]Institute of Geography, RAS, Moscow, Russia
dmitrievrv@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4018-9832, Scopus Author ID: 57189906790, ResearcherID: M-9498-2013, SPIN-код: 5954-7620, Author ID: 245533
[2]Institute for African Studies, RAS, Moscow, Russia

Abstract. The study is methodological in nature and aims to present the sequence of analysis of the population and spatial structures of a central place system. For the distribution of settlements by levels of the hierarchy, we use reference tables reflecting the contribution of each central place to the accumulated value of the *K*-parameter. It is postulated that, at each stage of a system's evolution, there is only one variant of the hierarchy of central places by population size and the only variant of their location in the lattice: in the process of research they are determined using the equations and principles of central place theory, rather than being given 'from above'. The process of determining the morphological structure is based on the principle of local predetermination, according to which at any moment of time a central place system has an optimal locally predetermined spatial structure which does not necessarily coincide with that in general theoretical terms. It is concluded that any settlement system can be stable provided that it corresponds to the theoretical optimum for a set of interacting different-parameter levels, and not for an equal-parameter lattice as a whole: the optimal state is the equilibrium state of not the entire system but individual levels of the hierarchy.

Keywords: central place theory, population structure, spatial structure, theoretical optimum, minimum principle energy principle

Acknowledgements. The article covers the materials of the studies carried out as part of the state assignments of the Institute of Geography, RAS (No. 0148-2019-0008) and the Institute for African Studies, RAS (No. 0192-2019-0021). Research techniques were developed as part of the state assignment No. 0148-2019-0008; calculations were made as part of the state assignment No. 0192-2019-0021.

For citation: Dmitriev, R.V. (2021). Central place systems: formation of the population and spatial structures. *Geographical Bulletin*. No. 4(59). Pp. 6–17. doi: 10.17072/2079-7877-2021-4-6-17.

Введение

Вопрос о построении или выявлении иерархии – вероятно, один из самых сложных в географии поселений. Множество используемых для этого признаков позволяет устанавливать наличие практически любого количества групп, уровней иерархии и т.п. В рамках теории центральных мест (ТЦМ) иерархия обычно возникает/строится на основе численности их населения или объема выполняемых ими центральных функций [3]. В рамках настоящего исследования нас будет интересовать первая из них.

Опираясь на данные по людности населенных пунктов по состоянию на тот или иной год, выстроим их по мере убывания значения этого показателя [12]. Далее возникает проблема распределения поселений по уровням. При этом, даже используя принцип дополнительности [15] и распределяя поселения по численности населения либо с учетом различия в объеме выполняемых центральных функций – при условии изменения этих показателей от поселения к поселению (или от одной их группы к другой) не скачкообразно, а плавно, исследователи не имеют в своем распоряжении универсальной и надежной методики выявления или построения четкой иерархии.

В некоторой степени эту проблему позволяет решить подход, предложенный отечественными исследователями [18]: реальная система сравнивается с идеальной, имеющей значение K (от 2 до 7) – одинаковое для всех уровней иерархии число ЦМ данного уровня, подчиненное одному ЦМ более высокого уровня, плюс оно само. При использовании данной методики возникают вопросы, не решенные до настоящего времени:

1) почему выбирается то или иное значение K и «под него» распределяются реальные поселения?

2) почему значение K должно быть одинаковым для всех уровней иерархии? В исследованиях [4; 13; 19] и других имела место ситуация, когда последний взятый для рассмотрения уровень иерархии был недоукомплектован при избранном для всей решетки значении K – число центральных мест на нем оказывалось меньше, чем того требует теория. И здесь возникает коллизия: если мы сравниваем реальную решетку с ее идеальным аналогом, то значение K для последнего уровня не равно таковому для всех вышележащих уровней;

3) сколько выделить уровней иерархии? – вопрос, также решаемый в работах в достаточной степени произвольно [16].

Материалы и методы исследования

Согласно постулатам классической теории центральных мест, из кристаллеровской решетки не может быть выделен ее фрагмент; иерархия характерна только для ЦМ, между которыми в пространстве равномерно распределено сельское население. Однако в реальных системах расселения число городских поселений конечно, а сельские поселения могут выполнять некоторые центральные функции [6].

На 1-м уровне иерархии (уровни нумеруются сверху) изолированной системы присутствует одно ЦМ, на каждом следующем уровне n их число составляет $(K-1)\times K^{n-2}$ [9]. Будем считать все поселения реальной системы (городские и сельские) центральными местами.

Тогда суммарная численность ее населения P_1 составляет:

$$P_1 = p_1 + (K-1)\times K^0 \times p_2 + (K-1)\times K^1 \times p_3 + \dots + (K-1)\times K^{n-2}\times p_n, \quad (1)$$

где p_n – численность населения ЦМ уровня иерархии n, K – вариант кристаллеровской иерархии.

Применяя уравнения Беккманна–Парра, отражающие соотношения численности населения ЦМ смежных уровней иерархии [2; 17]:

$$\frac{p_{1,\dots,n-2}}{p_{2,\dots,n-1}} = \frac{K-k}{1-k}, \qquad \frac{p_{n-1}}{p_n} = \frac{k\times(K-1)}{1-k},$$

где k – доля центрального места в населении обслуживаемой им зоны, и, выражая численность населения ЦМ всех уровней через таковую для 1-го уровня, получаем из уравнения (1):

$$P_1 = p_1 + (K-1)\times K^0\times p_1\times\left(\frac{1-k}{K-k}\right)^1 + (K-1)\times K^1\times p_1\times\left(\frac{1-k}{K-k}\right)^2 + \dots +$$
$$+(K-1)\times K^{n-3}\times p_1\times\left(\frac{1-k}{K-k}\right)^{n-2} + (K-1)\times K^{n-2}\times p_1\times\frac{(1-k)^{n-1}}{k\times(K-1)\times(K-k)^{n-2}}. \quad (2)$$

Последний уровень иерархии представлен сельскими поселениями: перепишем уравнение (2) только лишь для городских поселений – без учета последнего уровня:

$$P_{\text{гор}} = p_1 + (K-1) \times p_1 \times \left(\frac{1-k}{K-k}\right) \times$$
$$\times \left[1 + K \times \frac{1-k}{K-k} + K^2 \times \left(\frac{1-k}{K-k}\right)^2 + \cdots + K^{n-3} \times \left(\frac{1-k}{K-k}\right)^{n-3}\right]. \quad (3)$$

Выражение в квадратных скобках представляет собой сумму членов геометрической прогрессии со знаменателем $0 < K \times \left(\frac{1-k}{K-k}\right) < 1$. Тогда из (3) имеем:

$$P_{\text{гор}} = p_1 + p_1 \times (K-1) \times \left(\frac{1-k}{K-k}\right) \times \left[\frac{K^{n-2} \times \left(\frac{1-k}{K-k}\right)^{n-2} - 1}{K \times \left(\frac{1-k}{K-k}\right) - 1}\right] =$$
$$= p_1 + p_1 \times \left[\frac{(K-k)^{n-2} \times (1-k) - K^{n-2} \times (1-k)^{n-1}}{k \times (K-k)^{n-2}}\right] =$$
$$= p_1 \times \left[\frac{k \times (K-k)^{n-2} + (K-k)^{n-2} - k \times (K-k)^{n-2} - K^{n-2} \times (1-k)^{n-1}}{k \times (K-k)^{n-2}}\right] \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow P_{\text{гор}} = P_1 \times \left[1 - \frac{K^{n-2} \times (1-k)^{n-1}}{(K-k)^{n-2}}\right] \quad (4)$$

Разделив левую и правую части (4) на P_1, получаем:

$$\varphi = 1 - (1-k)^{n-1} \times \left(\frac{K}{K-k}\right)^{n-2}, \quad (5)$$

где φ – доля городского населения в общей численности населения системы.

Значение K может отличаться для разных уровней иерархии системы ЦМ [14]. В этой связи уравнение (5) в представленном выше виде справедливо лишь для систем с тремя уровнями иерархии – 1-м, 2-м и уровнем сельских поселений; для всех остальных случаев оно должно быть изменено. При анализе реальных систем расселения с помощью ТЦМ значения φ и k определяются эмпирически [7]. Значение K в исследованиях наших предшественников задавалось «сверху» для всей системы в целом, т.е. было постоянным для всех уровней иерархии. Мы считаем возможным находить его расчетным способом на основе (5) и установленной в [8] последовательности этапов эволюции системы: в этом случае мы получаем возможность строгого распределения ЦМ по уровням иерархии. Соответствующие уравнения для систем с 2–6 уровнями иерархии (не считая последнего, представленного сельскими поселениями) приведены в табл. 1. Далее ЦМ распределяются по локусам изолированной кристаллеровской решетки.

Сравнение структуры реальной системы расселения и идеальной системы ЦМ осуществляется по методике В.А. Шупера [17] с помощью показателя изостатического равновесия – интегральной характеристики, отражающей суммарное отклонение численности населения (теоретический радиус R_n^t) и расстояния между ЦМ уровней иерархии (эмпирический радиус R_n^e) в реальной и модельной (идеальной) изолированной системе:

$$\sum_{n=2}^{n-1} \frac{R_n^t}{R_n^e} = n - 2 \quad (2)$$

Для системы ЦМ с тремя уровнями иерархии и уровнем сельских поселений значение показателя изостатического равновесия в идеальном случае должно равняться 2. Чем ближе к идеальному расчетное значение, тем больше структура реальной системы соответствует модельному варианту – тем более структура устойчива к изменениям.

Таблица 1

Уравнения, отражающие значения доли городского населения (*φ*) и параметра *K*
для уровней иерархии в изолированной (самостоятельной) системе центральных мест (*составлено автором*)
Equations reflecting the share of the urban population (*φ*) and the K-parameter
for the hierarchy levels in an isolated (independent) central place system (*compiled by the author*)

Уровень	*Уравнение для φ*	*Уравнение для K*
2	$\varphi = 1 - (1-k)^2 \times \left(\frac{K_1}{K_1 - k}\right)$	$K_1 = \frac{k \times (1-\varphi)}{(1-\varphi) - (1-k)^2}$
3	$\varphi = 1 - (1-k)^3 \times \left(\frac{K_1}{K_1 - k}\right) \times \left(\frac{K_2}{K_2 - k}\right)$	$K_2 = \frac{k \times (1-\varphi) \times (K_1 - k)}{(1-\varphi) \times (K_1 - k) - K_1 \times (1-k)^3}$
4	$\varphi = 1 - (1-k)^4 \times \left(\frac{K_1}{K_1 - k}\right) \times \left(\frac{K_2}{K_2 - k}\right) \times \left(\frac{K_3}{K_3 - k}\right)$	$K_3 = \frac{k \times (1-\varphi) \times (K_1 - k) \times (K_2 - k)}{(1-\varphi) \times (K_1 - k) \times (K_2 - k) - K_1 \times K_2 \times (1-k)^4}$
5	$\varphi = 1 - (1-k)^5 \times \left(\frac{K_1}{K_1 - k}\right) \times \left(\frac{K_2}{K_2 - k}\right) \times$ $\times \left(\frac{K_3}{K_3 - k}\right) \times \left(\frac{K_4}{K_4 - k}\right)$	$K_4 = \frac{k \times (1-\varphi) \times (K_1 - k) \times (K_2 - k) \times (K_3 - k)}{(1-\varphi) \times (K_1 - k) \times (K_2 - k) \times (K_3 - k) - K_1 \times K_2 \times K_3 \times (1-k)^5}$
6	$\varphi = 1 - (1-k)^6 \times \left(\frac{K_1}{K_1 - k}\right) \times \left(\frac{K_2}{K_2 - k}\right) \times \left(\frac{K_3}{K_3 - k}\right) \times$ $\times \left(\frac{K_4}{K_4 - k}\right) \times \left(\frac{K_5}{K_5 - k}\right)$	K_5 $= \frac{k \times (1-\varphi) \times (K_1 - k) \times (K_2 - k) \times (K_3 - k) \times (K_4 - k)}{(1-\varphi) \times (K_1 - k) \times (K_2 - k) \times (K_3 - k) \times (K_4 - k) - K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times (1-k)^6}$

Результаты и обсуждение

Рассмотрим в качестве примера достаточно простую в структурном отношении систему Лесото, по состоянию на 2016 г. насчитывающую 12 ЦМ – городских поселений, а также сельские населенные пункты. Расположим 12 ЦМ (столбец 1) в порядке уменьшения численности их населения (столбец 2). Затем построим опорную табл. 2, включающую накопленную численность населения с учетом каждого города (столбец 3) и соответствующую долю городского населения (столбец 4).

Таблица 2

Опорная таблица для системы ЦМ Лесото, 2016 г.*
Reference table for the central place system of Lesotho, 2016 *

Численность населения системы (чел.), в т.ч.:	*2007201*	*Накопленная численность населения системы*	φ	k	K_1	K_2
Масеру	*330760*					
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Мапуцоэ	55541	386301	0,192	0,165	1,210	–
Мохалес-Хук	40040	426341	0,212	0,165	1,442	–
Мафетенг	39754	466095	0,232	0,165	1,802	–
Хлоцэ	38558	504653	0,251	0,165	2,419	–
Бутха-Бутхе	35108	539761	0,269	0,165	3,596	–
Цгутхинг	27314	567075	0,283	0,165	5,942	–
Теятеяненг	24257	591332	0,295	0,165	–	1,095
Цгачаснек	15917	607249	0,303	0,165	–	1,170
Тхаба-Цека	15248	622497	0,310	0,165	–	1,254
Мокхотлонг	12940	635437	0,317	0,165	–	1,338
Семонконг	7856	643293	0,320	0,165	–	1,395

**Сельские поселения не представлены. Рассчитано и составлено автором по: [20]*
**Rural settlements are not represented. Calculated and compiled by the author according to: [20]*

В соответствии с ТЦМ, значение k (столбец 5) одинаково для ЦМ всех уровней иерархии (кроме последнего сельского, в таблице не показанного). Из уравнений табл. 1 получаем расчетные значения K соответственно для каждого ЦМ каждого уровня иерархии (столбцы 6 и 7). В идеальном случае численность населения ЦМ одного уровня должна быть одинаковой и на определенном шаге в сумме при расчете давать то K, которое соответствует их числу плюс единица. Однако в реальных системах расселения одинаковая людность поселений – редкое исключение. В этой связи значение K соответствует не каждому центральному месту в отдельности, а той накопленной численности населения, которую может обслужить одно центральное место более высокого уровня. Расчет K (движение вниз по столбцу) ведется до достижения этим параметром значения 7: оно может оказаться меньше этого порога, но ни при каких обстоятельствах в ТЦМ не может его превышать. Достигнув максимального значения $K^{рассч.}$, мы должны закончить счет, отнести все посчитанные города к одному уровню иерархии и, учитывая полученные выражения для предыдущих уровней (в табл. 2 – значение K_1 для города Цгутхинг) – т.е. взаимодействие между ними, перейти к расчетам для следующего уровня. Данная процедура продолжается до тех пор, пока все ЦМ не будут распределены по уровням. При этом отличия в значении $K^{рассч.}$ и $K^{идеал.}$ (значения в соответствии с ТЦМ) заключаются в несоответствии реальной и идеальной численности населения ЦМ того или иного уровня. Для системы ЦМ Лесото таким образом $K_1^{идеал.}$ = (1+6) / 1 = 7; $K_2^{идеал.}$ = (1+6+5) / (1+6) = 1,714.

Популяционную структуру системы Лесото образуют, помимо уровня сельских поселений, три уровня иерархии городов. Далее необходимо определить, какую пространственную структуру имеет данная система – какова ее кристаллеровская решетка. Поскольку ТЦМ имеет дело не с частями непрерывного континуума расселения, а с самостоятельными системами, то мы не можем в качестве идеала для сравнения использовать участок классической кристаллеровской решетки. Это препятствие преодолел А.А. Важенин, предложивший использовать вместо непрерывных решеток изолированные – разные для соответствующих показателей *K* [5].

Главная проблема изолированных решеток с разными *K* – в невозможности перехода между ними и в визуальном, и в содержательном отношении в рамках эволюции системы. Для ее решения мы предлагаем закрепить за единственным и постоянным графическим изображением структуры соответствующее *K* = 7 для каждого уровня (рисунок, левая часть). Таким образом, системы, отвечающие разным значениям *K*, будут изображаться как части структуры, соответствующей завершению последнего этапа эволюции – своего рода трафарета, локусы которого будут занимать ЦМ по мере своего возникновения в процессе эволюции систем. Примем расстояния от ЦМ 1-го уровня до любого ЦМ 2-го уровня за условную единицу; ЦМ всех уровней, начиная с 3-го, располагаются в решетке для *K* = 7 на разном расстоянии от ЦМ 1-го уровня: далее необходимо определить, какие именно локусы и в какой последовательности будут заполняться.

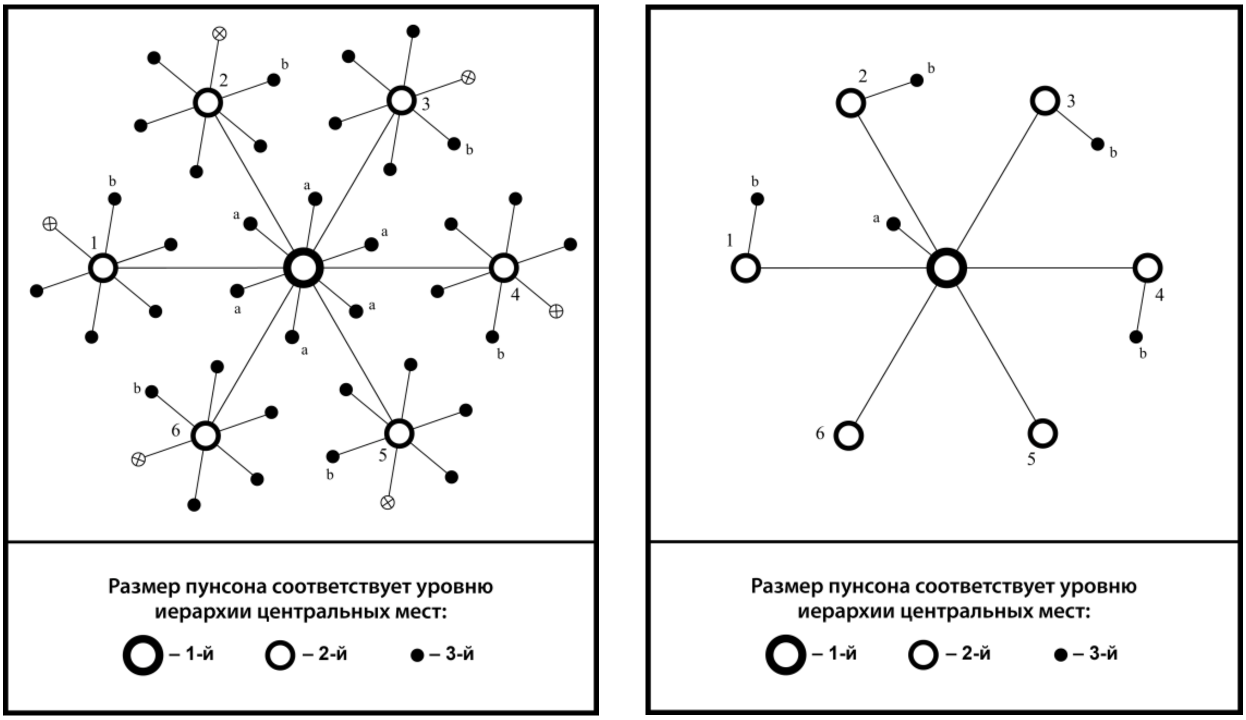

Рис. Структура решетки, соответствующей идеальной системе ЦМ на последнем этапе ее эволюции при *K* = 7 (слева) и системе ЦМ Лесото в 2016 г. (4-й уровень не показан)

Fig. The structure of the lattice corresponding to the ideal central place system at the last stage of its evolution at *K* = 7 (left) and to the central place system of Lesotho in 2016 (the 4th level is not shown)

Первыми в процессе эволюции возникают ЦМ 2-го уровня [10]. Первое из них при своем появлении может занять любой локус: пусть в процессе эволюции первым возникает ЦМ № 1, а последующие – по часовой стрелке. Второе ЦМ потенциально также может занять любой локус на втором уровне; однако будем принимать во внимание тот факт, что на ранних этапах ЦМ 2-го уровня вполне может догнать и перегнать по численности своего населения ЦМ пока еще 1-го уровня. Таким образом, если новое ЦМ 2-го уровня займет локус № 2, то последующая возможная смена ЦМ 1-го уровня никак на системе не отразится: расстояния между всеми ЦМ 1-го и 2-го уровней останутся равными единице, а новым ЦМ 1-го уровня может стать любое из ЦМ 2-го уровня – № 1 или № 2. Любой другой локус на 2-м уровне – № 3, 4 или 5 (локус № 6 в своем расположении аналогичен локусу № 2) – не будет столь оптимальным, поскольку одно из трех расстояний после смены лидера будет превышать единицу. Возникающее третье ЦМ 2-го уровня иерархии займет локус № 3 (а не № 4 или № 5): лишь тогда смена ЦМ 1-го уровня может быть возможной. Однако в этом случае не любое из трех ЦМ 2-го уровня может занять место лидера, а только вполне определенное – № 2, поскольку единичные расстояния сохранятся между всеми ЦМ только в этой ситуации. Четвертое ЦМ 2-го уровня займет локус № 4; для пятого и шестого столь жесткого закрепления локусов нет – № 5 и № 6 будут равнозначными.

Таким образом, уже на этапе появления ЦМ 2-го уровня проявляется упорядоченность в занятии ими определенных локусов решетки – с целью обеспечения ее максимальной лабильности для обеспечения возможности смены ЦМ уровня своей иерархии. По мере роста значения K лабильность решетки снижается, а при достаточно разветвленной структуре ($K = 5$ и более для двух первых уровней иерархии, не считая уровня сельских поселений) решетка становится и вовсе стабильной – смена ЦМ своего уровня иерархии перестает быть теоретически возможной.

Поскольку локусы 3-го уровня расположены на разном расстоянии от ЦМ 1-го уровня, то их «ценность» будет различаться: если ЦМ конкурируют между собой за пространство, то при своем возникновении они должны располагаться прежде всего там, где расстояние может обеспечить возможность будущего перехода на более высокий уровень иерархии или переподчинения ЦМ более высокого уровня – в *оптимальных локусах*. В левой части рисунка они показаны пунсонами с темной заливкой: те из них, которые обслуживаются непосредственно ЦМ 1-го уровня (локусы a), расположены на одинаковом от него расстоянии и, следовательно, равноценны для возникающих ЦМ 3-го уровня. Обслуживаемые же ЦМ 2-го уровня оптимальные локусы отличаются по своей «ценности»: расположение в одном из них (локусы b) для ЦМ 3-го уровня позволяет им перейти в будущем на 2-й уровень, поскольку расстояние до него и до существующих ЦМ 2-го уровня одинаково и равно условной единице; остальные же локусы 3-го уровня оптимальны, поскольку на них могут перейти ЦМ 4-го уровня, на рисунке не показанные.

Возникающие в дальнейшем на уже существующем уровне ЦМ вынуждены занимать оставшиеся локусы – *терминальные* (на рисунке показаны в числе ЦМ 3-го уровня – без заливки и со скрещенными линиями внутри): в решетке они не имеют локусов-двойников по расстояниям, поэтому перейти с них или на них популяционно и пространственно сложнее. Общее число локусов в решетке не так и мало: на 2-м, 3-м и 4-м уровнях иерархии максимально возможное их количество – 57. При этом 38 из них – «двойники» по расстоянию: ровно два из каждых трех локусов – оптимальные, один из каждых трех – терминальный.

С помощью уравнения Бекманна–Парра рассчитаем суммарную идеальную численность 2-го уровня иерархии (число ЦМ на нем равно шести) Лесото:

$$6 \times p_1 \times \left(\frac{1-k}{K_1^{\text{идеал.}} - k}\right) = 6 \times 330760 \times \left(\frac{1-0{,}165}{7-0{,}165}\right) = 242444$$

Для 3-го уровня иерархии – соответственно (число ЦМ на нем равно пяти):

$$5 \times p_1 \times \left(\frac{1-k}{K_1^{\text{идеал.}}-k}\right) \times \left(\frac{1-k}{K_2^{\text{идеал.}}-k}\right) = 5 \times 330760 \times \left(\frac{1-0{,}165}{7-0{,}165}\right) \times \left(\frac{1-0{,}165}{1{,}714-0{,}165}\right) = 108910$$

Разделив реальную численность населения (табл. 2) на идеальную, получаем $R_2^t = 0{,}975$ и $R_3^t = 0{,}700$ для 2-го и 3-го уровней иерархии соответственно. Поскольку значения каждого из них меньше единицы, оба уровня оказываются более легкими, чем это предполагает ТЦМ. Для компенсации меньшей численности населения в рамках равновесного состояния всей системы они должны в среднем находиться ближе к ЦМ 1-го уровня, чем предполагается в теории.

Пространственная структура системы Лесото выглядит следующим образом (рис. 1, правая часть). Идеальные средние расстояния при этом составляют в долях единичного расстояния от ЦМ 1-го уровня до ЦМ 2-го уровня: для второго уровня иерархии $= (1{,}000 + 1{,}000 + 1{,}000 + 1{,}000 + 1{,}000 + 1{,}000)/6 = 1{,}000$; для третьего $= (0{,}378 \times 1 + 1{,}000 \times 4)/5 = 0{,}876$.

Для ЦМ из табл. 2 реальные расстояния по прямой от ЦМ 1-го уровня составляют: до ЦМ 2-го уровня – 62,6; 92,8; 61,1; 73,7; 96,4 и 122,3 км, 3-го – 146,5; 111,7; 153,6; 45,2 и 45,0 км. Тогда средние реальные расстояния для уровней составят: для 2-го – 84,8 км, для 3-го – 100,4 км; отнесенные же к среднему расстоянию от ЦМ 1-го уровня до ЦМ 2-го уровня: для 2-го – 1,000; для 3-го – 1,184 долей единицы. Разделив эмпирические средние относительные расстояния на идеальные, получим для соответствующих уровней:

$$R_2^e = 1{,}000/1{,}000 = 1{,}000 \text{ и } R_3^e = 1{,}184/0{,}876 = 1{,}352.$$

Тогда показатель изостатического равновесия, введенный В.А. Шупером и отражающий степени устойчивости системы ЦМ, равняется:

$$\frac{R_2^t}{R_2^e} + \frac{R_3^t}{R_3^e} = \frac{0{,}975}{1{,}000} + \frac{0{,}700}{1{,}352} = 1{,}493$$

В теории, поскольку в системе наличествуют 4 уровня иерархии (1-й, 2-й, 3-й и уровень сельских поселений), показатель изостатического равновесия должен быть равен 4 – 2 = 2; расчетное значение существенно меньше теоретического. Это свидетельствует о низкой степени устойчивости системы к внешним и внутренним воздействиям, а также о том, что в ближайшее время весьма вероятно изменение ее структуры в соответствии с выявленной выше последовательностью. Изменения эти затронут прежде всего 3-й уровень иерархии, поскольку именно для него отношение в уравнении изостатического равновесия существенно отличается от единицы.

Выводы

На каждом этапе эволюции системы существуют единственный вариант иерархии центральных мест по численности населения и единственный вариант их расположения в решетке: в процессе исследования они определяются с помощью уравнений и принципов теории центральных мест, а не задаются «сверху».

На этапе появления ЦМ 2-го уровня проявляется упорядоченность в занятии ими локусов решетки – с целью обеспечения ее максимальной лабильности; по мере роста упорядоченности системы ЦМ (т.е. повышения значения *K*) лабильность снижается, а при достаточно разветвленной структуре (*K* = 5 и более для двух уровней иерархии, не считая уровня сельских поселений) решетка становится стабильной – смена ЦМ своего уровня иерархии перестает быть теоретически возможной. Это объясняет, что в процессе своей эволюции на 2-м шаге система нередко останавливается, не достигая высоких значений *K*, и переходит к формированию подсистем для *K* = 2 при росте числа уровней иерархии.

Необходимость обеспечения максимальной лабильности решетки в процессе ее построения непосредственно вытекает из физического (и, вероятно, общенаучного) принципа минимума потенциальной энергии, в соответствии с которым структура должна изменяться в положение, которое минимизирует общую потенциальную энергию системы. Применительно к ТЦМ принцип минимума энергии системы означает, что на каждом этапе эволюции системы ЦМ будут размещаться в тех локусах решетки, которые, с одной стороны, обеспечивают ее устойчивую структуру, с другой – позволяют занимающим их ЦМ изменять ранг своей иерархии с минимумом затрат всей системы в целом. При этом локусы разделяются на оптимальные и терминальные: ЦМ при первом появлении в силу действия указанного выше принципа будут занимать оптимальные локусы; размещение в терминальных локусах ведет к увеличению потенциальной энергии системы.

Таким образом, эволюция систем ЦМ происходит в соответствии с принципом локальной предопределенности: в любой момент времени система центральных мест имеет локально предопределенную (популяционную и пространственную) структуру, не обязательно совпадающую с таковой в глобальном (общетеоретическом) отношении. Устойчивой может быть любая система расселения – она лишь должна соответствовать теоретическому оптимуму для совокупности взаимодействующих разнопараметрических уровней, а не для равнопараметрической решетки в целом: оптимальным является равновесное состояние не всей системы в целом, а отдельных уровней иерархии. Этот принцип находится в прямом соотношении с принципом минимума потенциальной энергии, поскольку для большинства сложных систем существуют один глобальный минимум и несколько локальных (в рамках которых состояние системы характеризуется как метастабильное) [11]. Пребывание в локальном минимуме может осуществляться достаточно долго, в пределе – даже бесконечно долго. Иными словами, устойчивой может быть любая система расселения – она лишь должна соответствовать теоретическому оптимуму [1] для совокупности взаимодействующих разнопараметрических уровней, а не для равнопараметрической решетки в целом.

Список источников

1. Арманд А.Д. Эксперимент «Гея». Проблема живой Земли. М.: Сиринъ садхана, 2001. 192 с.

2. Архипов Ю.Р. Системное моделирование регионального расселения: дис. … д-ра геогр. наук. М., 2002. 342 с.

3. Бакланов П.Я. Поселение как целостный объект интегральных географических исследований // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2021. № 4. С. 3–11.

4. Важенин А.А. Влияние урбанизации на систему расселения Германии в XIX–XX веках // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2020. № 5. С. 674–693. doi: 10.31857/S2587556620050179.

5. Важенин А.А. Эволюционные процессы в системах расселения. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 62 с.

6. Горохов С.А., Дмитриев Р.В. Парадоксы урбанизации современной Индии // География в школе. 2009. № 2. С. 17–23.

7. Дмитриев Р.В. Использование гравитационных моделей для пространственного анализа систем расселения // Народонаселение. 2012. № 2(56). С. 41–47.

8. Дмитриев Р.В. К вопросу о постоянстве значения доли центрального места в населении обслуживаемой им зоны для всех уровней кристаллеровской иерархии // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2019. № 1. С. 128–135. doi: 10.31857/S2587-556620191128-135.

9. Дмитриев Р.В. Метрика пространства в теории центральных мест: старые проблемы, новые решения // Географический вестник. 2019. № 2(49). С. 24–34. doi: 10.17072/2079-7877-2019-2-24-34.

10. Дмитриев Р.В. Эволюция систем расселения в аспекте классической теории

центральных мест // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 165–175. doi: 10.31857/S2587556621020047.

11. Литовский В.В. Гравиогеография Урала и сопряженных территорий. М.: ГЕОС, 2020. 474 с.

12. Мазаев А.Г. Современна ли современная теория расселения? Критика методологических основ // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2010. № 2. С. 5–9.

13. Худяев И.А., Шупер В.А. Эволюционный подход к системам центральных мест: пример Прикубанья // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2004. № 2. С. 52–58.

14. Черкашин А.К. Теоретическая и метатеоретическая география // Географический вестник. 2020. № 1(52). С. 7–21. doi: 10.17072/2079-7877-2020-1-7-21.

15. Шупер В.А. Принцип дополнительности и теория центральных мест // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 1996. № 4. С. 88–94.

16. Шупер В.А. Релятивистская теория центральных мест и расселение в постиндустриальную эпоху // География мирового развития. Вып. 2 / под ред. Л.М. Синцерова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. С. 177–194.

17. Шупер В.А. Самоорганизация городского расселения. М.: Российский открытый университет, 1995. 168 с.

18. Шупер В.А. Характерное пространство в теоретической географии // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2014. № 4. С. 5–15. doi: 10.15356/0373-2444-2014-4-5-15.

19. Эм П.П. Городские агломерации как системы размытых центральных мест (на примере стран Корейского полуострова) // Региональные исследования. 2014. № 3(45). С. 115–125.

20. Lesotho Census 2016 – Summary of Key Findings’. URL: http://www.bos.gov.ls/2016%20Summary%20Key%20Findings.pdf (дата обращения: 14.04.2021).

References

1. Armand, A.D. (2001), Eksperiment “Geya”. Problema zhivoi Zemli [Gaia experiment. The problem of the living Earth], “Sirin sadkhana”, Moscow, Russia.

2. Arkhipov, Yu.R. (2002), Sistemnoe modelirovanie regional’nogo rasseleniya [Systemic modeling of the regional settlement]: D.Sc. theses, Moscow, Russia.

3. Baklanov, P.Ya. (2021), Settlement as a holistic object for integrated geographical research, *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, no. 4, pp. 3–11.

4. Vazhenin, A.A. (2020), The Influence of Urbanization on the German Settlement Pattern in the 19th and 20th Century, Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, no. 5, pp. 674–693. doi: 10.31857/S2587556620050179.

5. Vazhenin, A.A. (1997), Evolyutsionnye protsessy v sistemakh rasseleniya [Evolutionary Processes in Settlement Systems], Yekaterinburg, Russia.

6. Gorokhov, S.A., Dmitriev, R.V. (2009), The paradoxes of urbanization in modern India, *Geografiia v shkole*, no. 2, pp. 17–23.

7. Dmitriev, R.V. (2012), Application of Gravity Models to Spatial Analysis of Settlement Systems, *Narodonaselenie (Population)*, no. 2(56), pp. 41–47.

8. Dmitriev, R.V. (2019), Is the share of a central place in the population of the area, served by this central place, a constant for all levels of the Christaller’s hierarchy?, *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, no. 1, pp. 128–135. doi: 10.31857/S2587-556620191128-135.

9. Dmitriev, R.V. (2019), Metrics of Urban Settlement Systems in Terms of the Central Place Theory: Constancy vs Variability, *Geographical Bulletin*, no. 2(49), pp. 24–34. doi: 10.17072/2079-7877-2019-2-24-34.

10. Dmitriev, R.V. (2021), The Evolution of Settlement Systems in Classic Central Place Theory,

Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, no. 85(2), pp. 165–175. doi: 10.31857/S2587556621020047.

11. Litovsky, V.V. (2020), Graviogeografiya Urala i sopryazhennykh territorii [Graviogeography of the Ural and Adjacent Territories], GEOS, Moscow, Russia.

12. Mazaev, A.G. (2010), Whether the Modern Theory of Moving is Modern? Criticism of Methodological Bases, *Akademicheskij Vestnik UralNIIProekt RAASN*, no. 2, pp. 5–9.

13. Khudyaev, I.A., Shuper, V.A. (2004), Evolutional Approach to the Systems of the Central Places: Example of Near Kooban Region, Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, no. 2, pp. 52–58.

14. Cherkashin, A.K. (2020), Theoretical and Metatheoretical Geography, *Geographical Bulletin*, no. 1(52), pp. 7–21. doi: 10.17072/2079-7877-2020-1-7-21.

15. Shuper, V.A. (1996), Principle of additionality and the central place theory, Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, no. 4, pp. 88–94.

16. Shuper, V.A. (2010), Relativistic Central Place Theory and Resettlement in the Post-Industrial Era in Sintserov, L.M. (ed.), Geografija mirovogo razvitija [Geography of World Development], Is. 2, Tovarishhestvo nauchnyh izdanij KMK, Moscow, Russia.

17. Shuper, V.A. (1995), Samoorganizacija gorodskogo rasselenija [Self-organization of urban settlement], Rossijskij otkrytyj universitet, Moscow, Russia.

18. Shuper, V.A. (2014), Typical space in theoretical geography, *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, no. 4, pp. 5–15. doi: 10.15356/0373-2444-2014-4-5-15.

19. Em, P.P. (2014), Urban Agglomerations as the Fuzzy Central Place Systems (The Case of the Korean Peninsula Countries), *Regional'nye Issledovanija*, no. 3(45), pp. 115–125.

20. Lesotho Census 2016 – Summary of Key Findings', available at: http://www.bos.gov.ls/2016%20Summary%20Key%20Findings.pdf (accessed 14.04.2021).

Статья поступила в редакцию: 27.09.21; одобрена после рецензирования: 29.10.2021; принята к опубликованию: 05.11.2021.

The article was submitted: 27 September 2021; approved after review: 29 October 2021; accepted for publication: 5 November 2021.

Информация об авторе

Руслан Васильевич Дмитриев
кандидат географических наук, докторант, старший научный сотрудник, Институт географии РАН (г. Москва), Институт Африки РАН (г. Москва);

119017, Россия, г.Москва, Старомонетный пер., 29

Information about the author

Ruslan V. Dmitriev
Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences; Institute for African Studies, Russian Academy of Sciences;
29, Staromonetnyi pereulok, Moscow, 119017, Russia

e-mail: dmitrievrv@yandex.ru