

DOI: 10.12731/2218-7405-2014-4-8

УДК 519.21

## РАЗМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТОВ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ: ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ПРАКТИКИ

Лопаткина А.Е.

Пространственное размещение объектов социальной сферы играет важную роль в организации различных экономических процессов, отвечая за миграционные потоки и движение трудовых ресурсов. Несмотря на это, пространственный фактор по-прежнему учитывается в исследованиях лишь косвенно, отражаясь в основном в показателях доступности учреждений от мест проживания населения и численности населения на определенную территорию. Зарубежные научные работы касаются этих вопросов гораздо чаще, как рассматривая их отдельно, так и включая их в комплексные исследования.

В статье рассматриваются некоторые методики по оптимизации пространственного размещения медицинских учреждений, предлагаемые зарубежными авторами. Кроме того, приводится пример возможного применения аппарата взвешенных диаграмм Вороного для решения вопросов, связанных с расположением этих объектов на территории сельской местности в России. Показано, что необходимо анализировать не только парные отношения между различными объектами, а систему в целом, а пространственная структура социальной сферы определяется в равной мере как параметрами расстояния, так и ее топологией.

**Ключевые слова:** пространственная оптимизация; диаграмма Вороного; доступность; размещение.

## PLACING SOCIAL INFRASTRUCTURE: FOREIGN EXPERIENCE AND OPPORTUNITIES FOR THE RUSSIAN PRACTICE

Lopatkina A.E.

Spatial arrangement of social sphere objects plays an important role in the various economic processes organization. It is responsible for migration flows and the labor movement. Despite this the spatial factor has been still taken into account in studies reflected mainly in terms of the availability of accommodation establishments and population in a certain area. Foreign scientific works deal with these issues more often treating them separately and including them in a comprehensive study.

This article discusses some techniques to optimize the health facilities spatial distribution offered by foreign authors. In addition, there is an example of a weighted Voronoi diagrams possible application for solving the issues related to the location of these facilities in the rural areas in Russia. It is shown that it is necessary to analyze not only the paired relationship between different objects, but the whole system. The social sphere spatial structure is determined equally as distance parameters, and its topology.

**Key words:** spatial optimization; Voronoi diagram; accessibility; arrangement.

Российские модели управления при переходе от социалистической формы организации экономики к рыночной претерпевали некоторые, порой существенные, изменения. Этот процесс в основном проходил под эгидой их переориентации на качественно работающие зарубежные образцы, которые использовались в соответствующих отраслях.

В первую очередь, это касалось моделей финансирования социальной сферы, которые в это время активно обсуждались и уже начинали использоваться в Западной Европе. Итогом этого стало внедрение таких всем известных сегодня механизмов, как: негосударственные фонды, обязательное

---

медицинское страхование, накопительная система пенсионного обеспечения и т.д.

Однако в вопросах оптимальности (с точки зрения представителей и получателей услуг) размещения объектов социальной сферы российская практика существенно отстает от западной. Подобные обсуждения в основном проводятся в рамках исследований по региональной экономике, которая, наряду с пространственной, является относительно молодым научным направлением.

Многие работы западных ученых не переведены на русский язык, что затрудняет ввод в научный оборот оригинальных иностранных методик. Кроме того, перед их внедрением в российскую управленческую практику необходимо их существенное переосмысление, так как их непосредственное использование обычно мало подходит для российских реалий.

В обзоре С. Калогироу и Р. Фоли 2006 года показано, что исследования предоставления услуг в социальной сфере разделяются в зарубежных научных работах на две большие группы: отображение процесса оказания определенных услуг на карте, а также моделирование доступности пользования услугами [6]. Далее представим основные положения этих, а также некоторых других исследований в рамках данной тематики.

М. Гударт и П. Смит определяют доступность как «способность обеспечить заданный набор услуг заданного уровня качества, с учетом заданного уровня максимального личного неудобства и затрат, в то время как в распоряжении имеется определенное количество информации» [3].

При изучении показателя доступности должен соблюдаться принцип равного доступа к различным услугам. Так, равный доступ к медицинской помощи для тех, кто в одинаковой степени в ней нуждается, описан А. Оливером и Е. Моссиалосом в их совместной работе 2004 года [9].

Среди наиболее используемых моделей размещения медицинских учреждений можно выделить следующие: П-медианная модель, модель

обычного и максимального покрытия (с использованием FCA (flow catchment area) –метода «площади водосбора потока»), иерархическая модель местоположения и распределения, пространственные модели взаимодействия [2].

П-медианная модель, впервые предложенная С. Хаками в 1964 году, утверждает, что учреждения социальной сферы должны располагаться таким образом, чтобы сумма всех расстояний от точек спроса до точки П (точки предложения социальной услуги) была минимальной (см. Рисунок 1) [4].



Рисунок 1 – Распределение точек спроса вокруг точки предложения  
медицинской услуги

Однако при изучении реально сложившейся ситуации в сфере услуг выяснилось, что зоны их предоставления, построенные по такой модели, существенно отличаются по форме от реально существующих (информация по которым была получена путем проведения полевых исследований) (см. Рисунок 2).

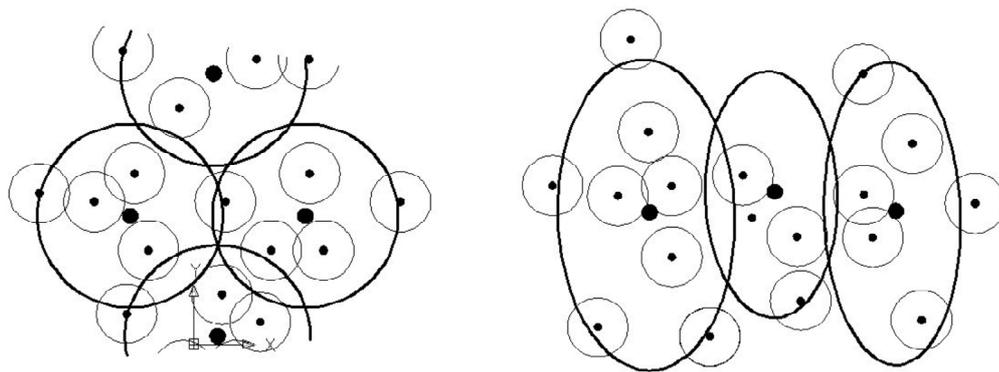


Рисунок 2 – Зоны обслуживания по П-медианной модели и на практике

В результате этого стандартная П-медианная модель была модифицирована с помощью введения коэффициента  $k$ , формировавшегося под действием четырех факторов: транспортного, весового, социального и политического.

Модифицированная модель объясняет изменение масштаба влияния объектов медицинских услуг и воздействие политики, а также показывает преимущество венообразного распределения (см. Рисунок 3).

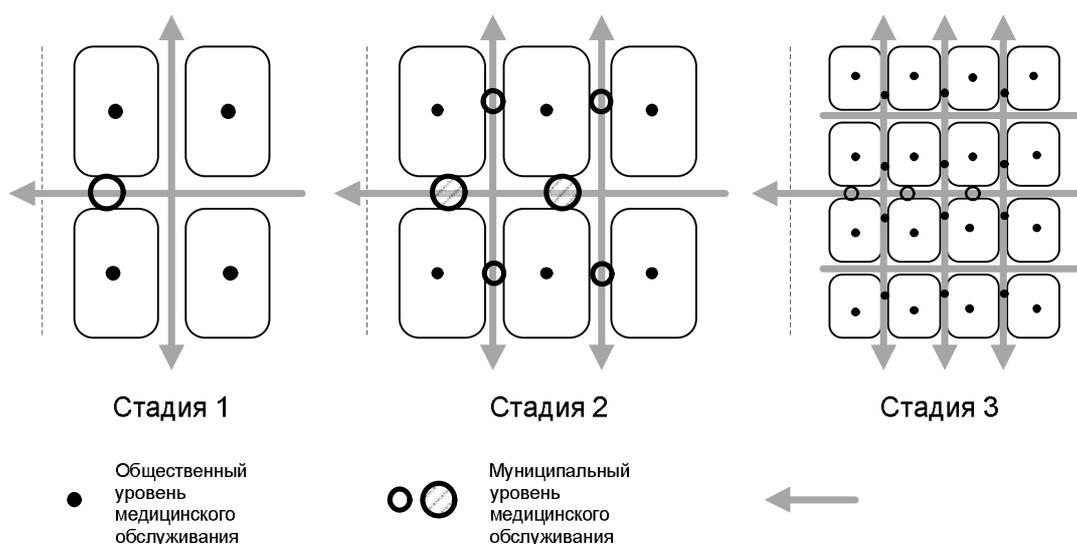


Рисунок 3 – Стратегия размещения медицинских учреждений

Доступность объектов социальной сферы для их потенциальных потребителей измеряется следующим образом. Если у объекта хватает мощности для их обслуживания, то вопрос доступности состоит только в расстоянии до него, а также во времени, затрачиваемом на его достижение. Если объемов оказываемой услуги не хватает, то необходимо рассчитывать количество дополнительных мест, учитывая соотношение спрос-предложение. Кроме того, нужно принимать во внимание и пространственные показатели (влияние расстояния, дорожной сети, транспортного обеспечения) [16].

Методы FCA (площади водосбора потока) развивались в экономической науке следующим образом. Сначала рассматривалось соотношение «спрос-предложение» в рамках одной геополитической единицы [1]. Затем стали развиваться методы FCA с радиусом (с использованием улучшенных единиц измерения) [10].

Впоследствии в методах FCA с временными диапазонами стало учитываться, что время на достижение объекта не должно превышать установленный порог, а доступность объектов социальной сферы не всегда равная для всех [17].

Самым новым в этой сфере по праву считается двухшаговый (двухступенчатый) FCA метод, в котором рассматривается шкала доступности по существующим объектам социальной сферы, а при сложении объемов доступных предложений вокруг существующего спроса не применяется метод двойного счета [8,12]. Рассмотрим этот метод подробнее (см. Рисунок 4).

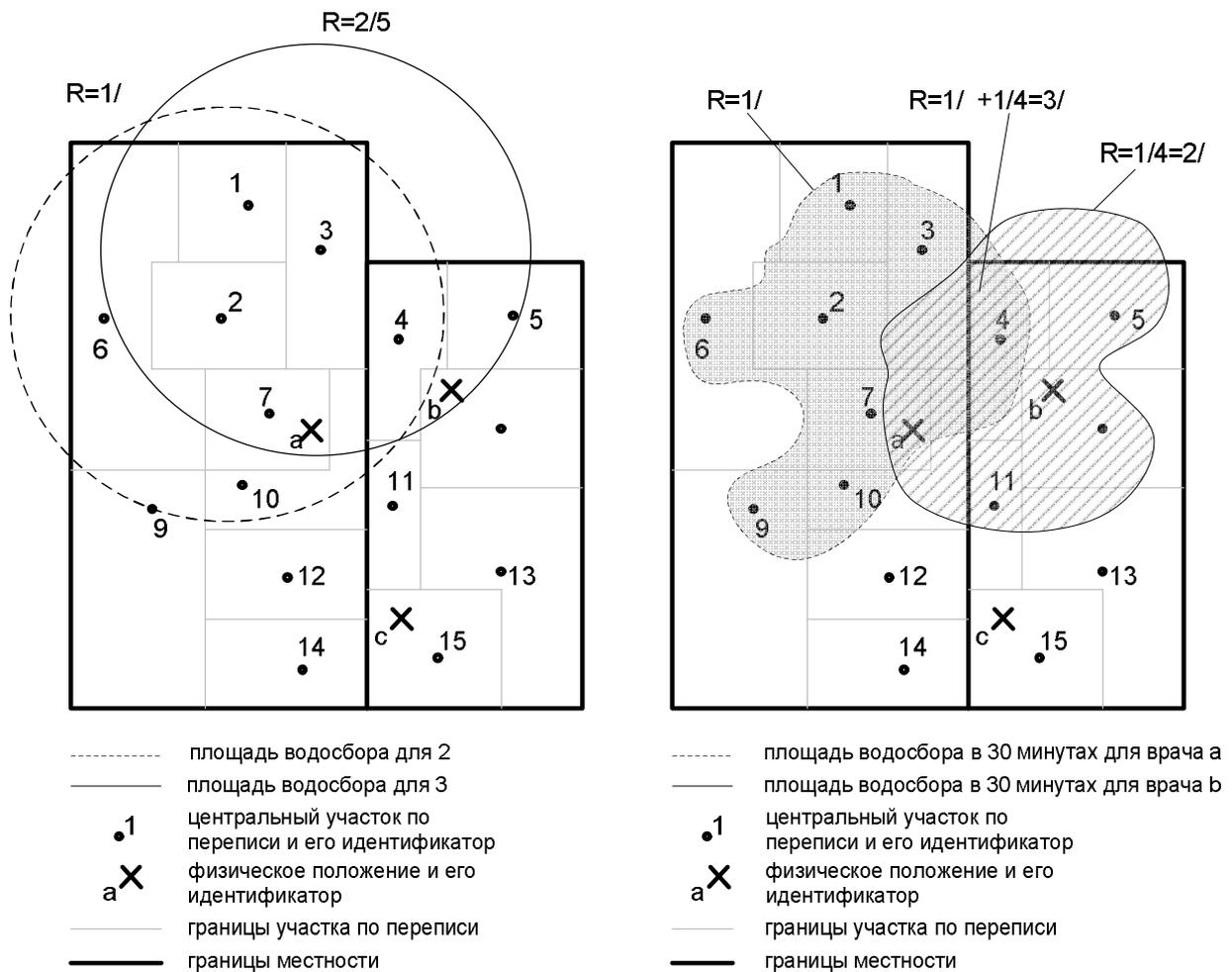


Рисунок 4 – Переход от одношагового к двухшаговому FSA методу

Первый шаг метода вычисляет доступность (отношение спрос-предложение) для каждого месторасположения врача. Второй шаг показывает зоны обслуживания врачей в перекрывающихся областях, а также подводит итог отношения спрос-предложение, потому что жители могут иметь доступ к нескольким объектам здравоохранения.

Для каждого расположения врача  $j$  выбираются все расположения резидентов  $k$ , которые находятся в разумной доступности (по времени) из  $j$  (площадь водосбора  $C_j$ ). Число врачей для численности населения внутри области  $C_j$  рассчитывается следующим образом:

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in C_j} P_k} \quad (1)$$

Для каждого резидента местности  $i$  ищутся все расположения врачей  $j$  в пределах временной доступности из  $i$  (площадь водосбора  $Z_i$ ). Суммируется число врачей по численности населения в их врачебных округах:

$$A_i = \sum_{j \in Z} R_j = \sum_{j \in Z} \left( \frac{S_j}{\sum_{k \in C_j} P_k} \right) \quad (2)$$

В исследованиях, использующих гравитационную модель [5,13], доступность врача для конкретного больного определяется по формуле:

$$A_j = \sum_{i=1}^n \frac{S_j d_{ij}^{-\beta}}{V_j} \quad (3)$$

$d_{ij}$  - время в пути между расположением потребителя медицинских услуг  $i$  и расположением врача  $j$ .

$V_j = \sum_{k=1}^m P_k d_{kj}^{-\beta}$  - интенсивность конкуренции за врачебную помощь в расположении врача  $j$ .

В качестве основных утверждений, используемых в модели, можно назвать следующие. Врач, находящийся ближе к пациенту, является более доступным, чем удаленный от него. Состояние доступности (или недоступности) непрерывное, а не дихотомичное. Врач, находящийся в окружении большего количества населения, является менее доступным.

---

Средневзвешенная величина  $A_i$  ( $w_i = P_i$ ) равна всей численности врачей в расчете на всю численность населения на всей территории исследования.

В качестве непространственных факторов, влияющих на доступность врачебного обслуживания необходимо отметить: демографические факторы, социально-экономический статус, лингвистические барьеры, транспортную доступность и т.д.

В рассматриваемом примере использован показатель времени в пути. Для его значения, меньше либо равного 10 минутам, никакого разложения расстояния не применяется. Для времени в пути от 10 минут до 2х часов применяется разложение, пропорциональное времени в пути. Если время в пути до врача превышает два часа, условно принимается, что это место недоступно для пациента [14].

Рисунок, представленный ниже (см. Рисунок 5), иллюстрирует три примера гравитационной модели. Цифры в кругах и квадратах представляют количество населения и врачей, которые могут оказать им первую медицинскую помощь, соответственно. Время, необходимое для достижения определенной цели, указано рядом со стрелками.

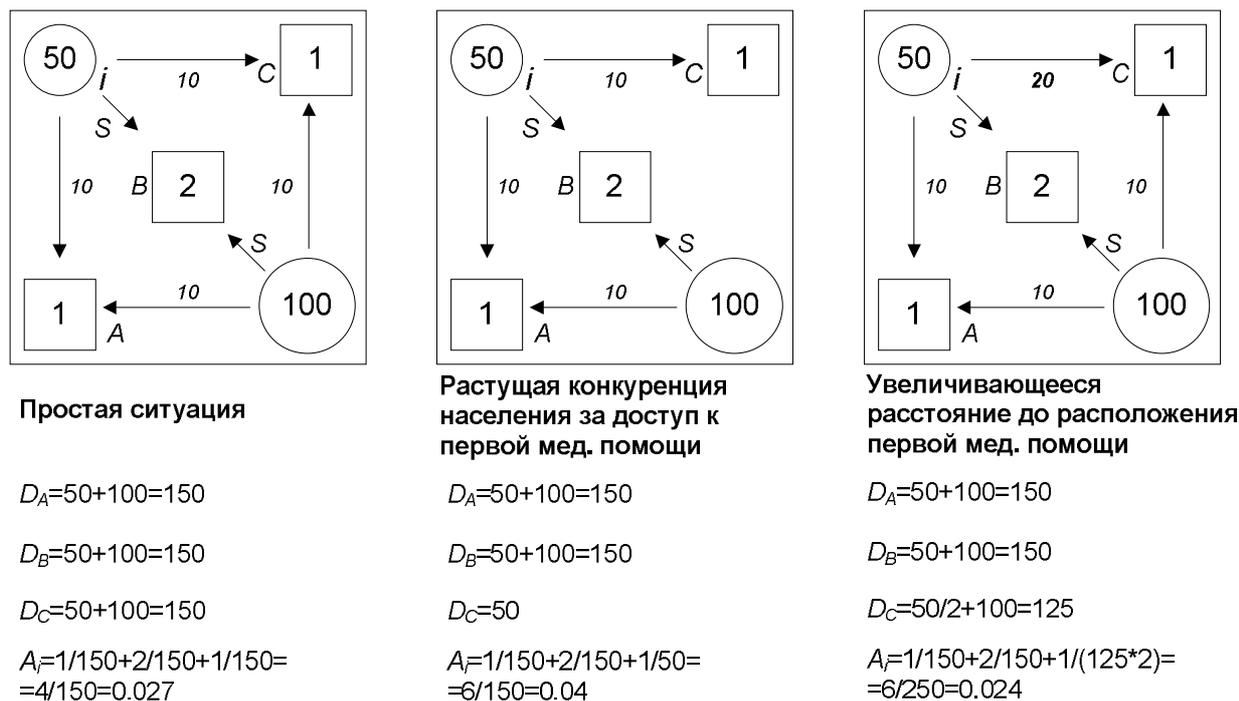


Рисунок 5 – Гравитационная модель

Первый случай является наиболее простым. Объекты, где пятидесяти пациентам могут оказать первую медицинскую помощь, находятся в пределах десяти минут, поэтому разложение расстояния не применяется. Сто других пациентов также находятся в десяти минутах от этих трех точек. Показатель доступа равен общему предложению, деленному на общий спрос (150 человек).

Второй случай показывает влияние конкурирующего населения на доступ к объекту социальной сферы. Здесь, центр тяжести (100 потенциальных пациентов) не имеет доступа к объекту С. Это приводит к уменьшению спроса на объект С, а, следовательно, увеличивает доступ к медицинской помощи в *i*.

Третий случай наглядно показывает эффект сопротивления во времени. Сейчас объект С находится в 20 минутах езды от *i*. Это приводит к уменьшению спроса на объект С, а также к снижению возможности доступа *i* к объекту С, что является выгодным для других объектов. Кроме того, это снижает и общий показатель доступа [14].

Отдельные исследователи показали, что большое расстояние между пациентами и больницами последовательно снижает вероятность того, что выбор будет сделан в пользу именно этой больницы. В свою очередь, прямолинейное расстояние и время в пути при выборе больницы в большинстве моделей тесно связаны, за исключением тех случаев, когда речь идет о конкретных специализированных больницах, а также исследований в условиях плотной городской среды, где пробки могут существенно ограничить доступ к медицинской помощи [7,11].

Для выбора наилучшего распределения потоков ресурсов через всю систему исследователями обычно применяется сетевой анализ [15]. Выбор маршрута осуществляется через пользовательские характеристики мест отправления или назначения, узлов (остановок) на сети. Узлы используются для обозначения перекрестков или участков дороги, где происходит изменение в ее типе (например, негрунтовой на грунтовую) или классе (например, числе полос).

В российской практике редко применяются математические инструменты для оптимизации размещения учреждений социальной инфраструктуры. Приведем пример возможного использования аппарата взвешенных диаграмм Вороного для изучения обеспеченности населения медицинскими учреждениями в сельской местности.

Действующая методика размещения лечебно-профилактических учреждений исходит из иерархического построения системы здравоохранения и соответствия некоторой неизменной структуре административного управления, не учитывая сложившуюся пространственную систему расселения.

Основная идея предлагаемой нами методики состоит в том, чтобы разделение территории по учреждениям социальной сферы максимально совпадало с ее зонированием по расселению. Следовательно, разные зоны имеют разные размеры, т.е. каждый участок обладает определенным весом.

Для зонирования по численности этот вес определяется числом жителей, проживающих на определенной территории. Для определения веса социальных учреждений предлагается использовать взвешенные диаграммы Вороного. Зоны обслуживания учреждений социальной сферы определяются так же, как и зоны по численности населения, за исключением того, что каждая из них может содержать несколько населенных пунктов, обслуживаемых соответствующим учреждением.

На следующем рисунке представлены две взвешенные диаграммы по Бийскому району Алтайского края.

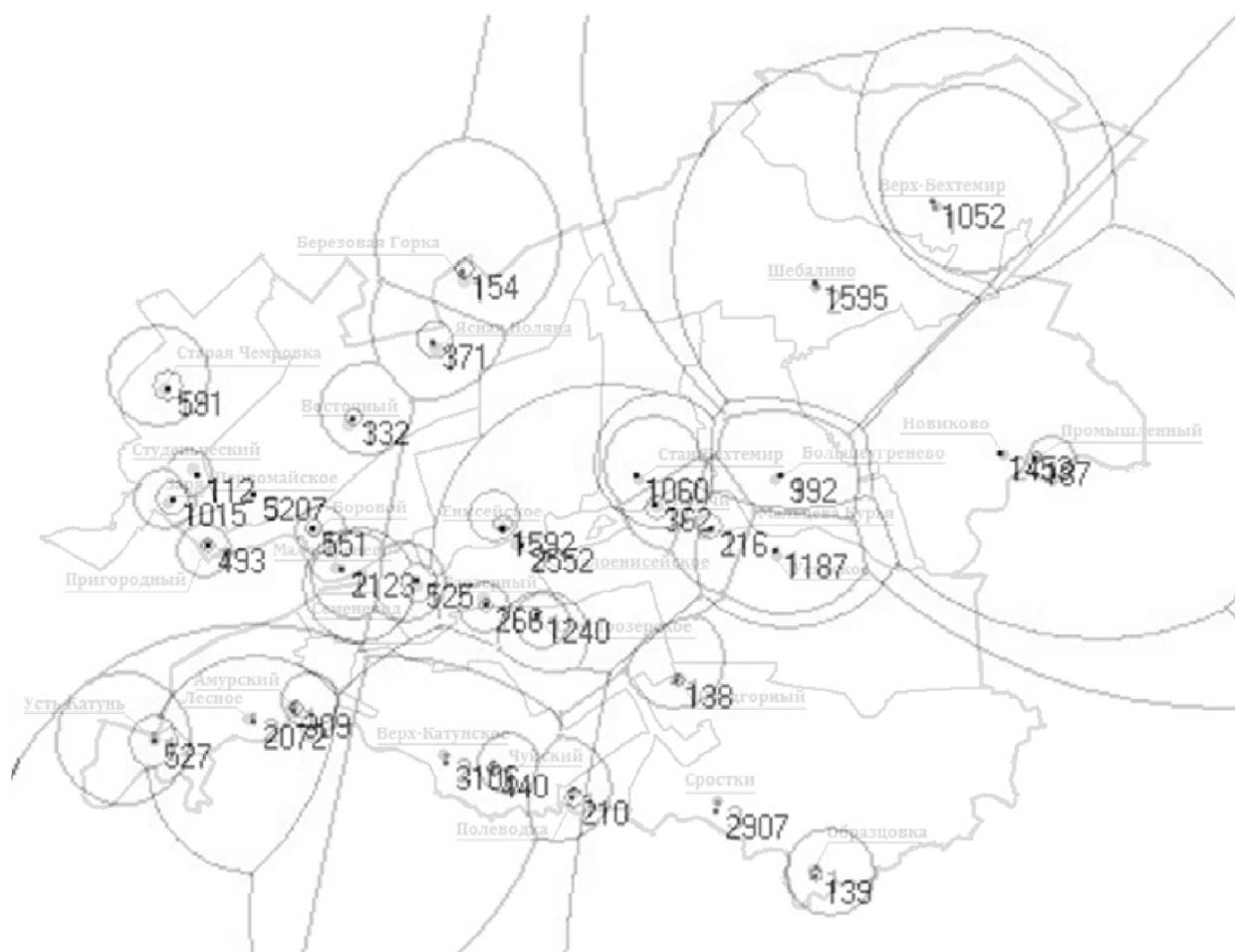


Рисунок 6 – Сопоставление двух взвешенных диаграмм Вороного по Бийскому району Алтайского края (численность населения и обеспеченность медицинскими учреждениями)

Вес ячейки в диаграмме по населению определяется численностью жителей населенного пункта, по медицинским учреждениям – их мощностью. Для примерного определения значимости различных категорий медицинских учреждений в сельском районе фельдшерско-акушерским пунктам был присвоен вес, равный 1, врачебным амбулаториям – 2, участковым больницам – 3.

Каждый населенный пункт имеет свой вес на каждой из двух диаграмм Вороного. Следовательно, каждая точка имеет по два полигона Вороного. Рассмотрим их отдельно друг от друга. На следующем рисунке представлены полигоны взвешенной диаграммы Вороного по численности населения, а также по обеспеченности медицинскими учреждениями Бийского района Алтайского края.



Рисунок 7 – Взвешенные диаграммы Вороного по численности населения и по обеспеченности медицинскими учреждениями Бийского района Алтайского края

В селах Новиково и Шебалино Бийского района Алтайского края расположено по одной врачебной амбулатории (соответствуют весу, равному 2). Следовательно, ячейки диаграммы Вороного примерно равны между собой.

В селе Верх-Бехтемир функционирует только фельдшерско-акушерский пункт (соответствует весу, равному 1). Этот населенный пункт представлен кругом меньшего радиуса, чем зона влияния Шебалино на диаграмме по медицинским учреждениям, а также чем зона влияния самого Верх-Бехтемира, но уже на диаграмме по численности населения.

Обратная ситуация складывается относительно ячейки Промышленного на фоне большей зоны влияния села Новиково. На диаграмме по обеспеченности района медицинскими учреждениями зона его влияния больше, чем на диаграмме по численности населения.

Далее предлагается совместить две диаграммы так, чтобы они как можно меньше отличались друг от друга. Следовательно, совместить полигоны одних и тех же точек на двух различных взвешенных диаграммах Вороного так, чтобы отклонения между ними были минимальными.

Для этого необходимо внести изменения в стартовые веса точек на взвешенной диаграмме Вороного, что будет означать, что значение каждой из категорий учреждений социальной сферы (в нашем случае – медицинских) изначально было переоценено или недооценено. Вариант решения такой задачи представлен ниже.

Веса категорий учреждений социальной сферы, а точнее, их отношения (вес амбулатории/вес ФАПа, вес больницы/вес амбулатории) корректируются таким образом, чтобы снизить расхождение между двумя взвешенными диаграммами Вороного по населению и соответствующим учреждениям социальной сферы.

Для упрощения задачи рассматриваются не сами веса, а их отношения, тем самым число переменных снижается с трех до двух. При фиксированных начальных весах отношения становятся равными 2 и  $3/2$ . От точки с этими координатами в декартовой системе в четырех направлениях откладывается по шагу (отрезку малой длины).

На рисунке 9 представлен получившийся квадрат со сторонами, равными удвоенному шагу. После принятия в качестве весов значений в вершинах квадрата дополнительно к уже имеющейся диаграмме Воронова по медицинским учреждениям строим еще четыре, и они сравниваются с неизменной диаграммой по населению (путем сопоставления в MATLAB).

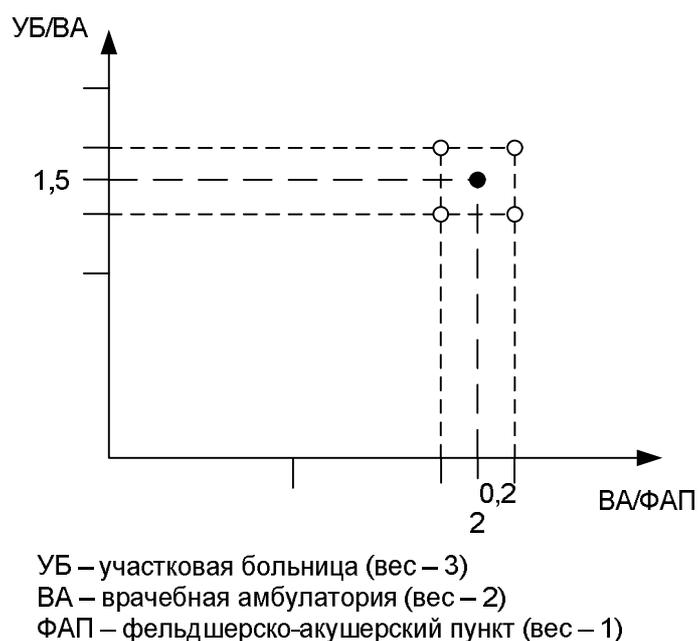


Рисунок 9 – Поиск оптимального соотношения весов медицинских учреждений в диаграмме Вороного

Алгоритм решения сводится к тому, что если минимум отклонений двух диаграмм достигается при соотношении весов, находящихся на графике в центре квадрата, то тогда начальные веса и являются наилучшими. Если же минимум достигается в одной из вершин квадрата, она выбирается как центр нового квадрата. В этом случае проводятся все вышеописанные действия до тех пор, пока решение задачи не сведется к первому случаю.

Очевидно, что в силу произвольности выбора шага, итоговое решение нельзя считать абсолютно верным. С другой стороны, шаг может быть

уменьшен с каждой итерацией, что позволяет найти весьма точное решение (для локального максимума, который в общем случае не всегда совпадает с глобальным). В результате проведенных расчетов было получено, что две диаграммы сближаются при снижении веса ФАПов с 1 до 0,3.

С содержательной точки зрения это означает, что значение фельдшерско-акушерских пунктов в данном конкретном районе переоценено. Следовательно, их количество должно быть снижено в пользу более крупных медицинских учреждений: врачебных амбулаторий и поликлиник.

Как было показано, за рубежом активно развиваются методики по совершенствованию размещения объектов социальной инфраструктуры. Научные работы, касающиеся сферы здравоохранения, занимают в этом списке, пожалуй, лидирующую позицию. В нашей же стране только с недавнего времени важность этого вопроса начинает осознаваться. Используя предложенный выше инструментарий, можно определять, насколько остра необходимость в определенных учреждениях социальной сферы с учетом расположения населенных пунктов и численности населения в них.

### **Список литературы / References**

1. Cervero R. America's suburban centers: The land use-transportation link. Boston: Unwin-Hyman. 1989, 232 p.
2. Chen Zhao, Shen Yibei Spatial Model of Medical facilities: a modification based on P-median model, Dept. Of Urban & Regional Planning Nanjing University
3. Goodard M., Smith P. Equity of access to health care services: Theory and evidence from the UK., Social Science and Medicine, 2001, 53(9), pp. 1149-1162.
4. Hakimi S L, 1964, Optimal location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph, Operations Research 12, 450-459.

5. Joseph A.E., Bantock P.R. Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: a method and case study // *Social Science and Medicine*, 1982, 16 pp. 85-90
6. Kalogirou S., Foley R. Health, Place and Hanly: modelling accessibility to hospitals in Ireland // *Irish Geography*, Volume 39(1), 2006, pp. 52-68.
7. Luft H. S., Garnick D. W, Mark D. H., Peltzman D.J., Phibbs C. S., Lichtenberg E., and McPhee S.J.. Does Quality Influence Choice of Hospital? // *Journal of the American Medical Association*, 1990, 263 (21): 2899-906
8. Luo W., Wang F. Measures of Spatial Accessibility to Healthcare in a GIS Environment: Synthesis and a Case Study in Chicago Region // *Environment and Planning B: Planning and Design* 2003. 30 (6), pp. 865-884
9. Oliver A., Mossialos E. Equity of access to health care: outlining the foundations for action, *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2004, 58, pp. 655-658.
10. Peng Z. The jobs-housing balance and urban commuting // *Urban Studies*, 1997. 34, pp. 1215-1235
11. Phibbs C. S., H. S. Luft Correlation of Travel Time on Roads Versus Straight Line Distance // *Medical Care Research and Review*, 1995. 52 (4) pp. 532-42.
12. Radke J., Mu L. Spatial decomposition, modeling and mapping service regions to predict access to social programs // *Geographic Information Sciences*, 2006. 6, pp. 105-112
13. Shen Q. Location characteristics of inner-city neighborhoods and employment accessibility of low-income workers // *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1998. 25, pp. 345-365
14. Schuurman N., B`eru`be M., Crooks V. A. Measuring potential spatial access to primary health care physicians using a modified gravity model // *The Canadian Geographer / Le G`eographe canadien* 54, no 1 (2010), pp. 29-45

15. Walsh Stephen J., Page Philip H., and Gesler Wilbert M. Normative Models and Healthcare Planning: Network-Based Simulations Within a Geographic Information System Environment // HSR: Health Services Research 32:2 (June 1997), pp. 243-260

16. Wang F. GIS-Based Measures of Spatial Accessibility and Application in Examining Healthcare Access, CNU, June 28, 2007

17. Wang F., Minor W. Where the jobs are: employment access and crime patterns in Cleveland // Annals of the Association of American Geographers. 2002, 92. pp. 435-450

## **ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ**

**Лопаткина Анна Евгеньевна**, ведущий специалист

*ООО «Корпус»; Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН*

*ул. Котовского, 17, г. Новосибирск, Россия; просп. Академика Лаврентьева, 17, Академгородок, г. Новосибирск, 630090, Россия*

*lopatkina\_anna@ngs.ru*

## **DATA ABOUT THE AUTHOR**

**Lopatkina Anna Evgenevna**, leading expert

*ООО "Korpus", Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS*

*Kotovskogo Str., 17, Novosibirsk, Russia; Lavrentev ave., 17, Novosibirsk, 630090, Russia*

*lopatkina\_anna@ngs.ru*