

## ЭВОЛЮЦИЯ ТЕОРИЙ И МЕТОДОВ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ: ОТ КЛАССИЧЕСКИХ КОНЦЕПЦИЙ К СОВРЕМЕННЫМ ПОДХОДАМ

Прутовых М.А.

*ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова»,  
Абакан, e-mail: prutovyh\_ma@mail.ru*

В статье представлен историко-аналитический обзор теорий и методов оптимального размещения объектов на географической территории, охватывающий период с XIX в. по настоящее время. Целью работы является всесторонний обзор эволюции теоретических подходов к решению задачи оптимального размещения объектов различной природы на географической территории. Поиск литературы осуществлялся в базах данных ScienceDirect, eLIBRARY.RU, КиберЛенинка за период с 1994 по 2024 г. Всего было проанализировано около 136 источников, из которых 14 включены в список литературы. В рамках исследования проанализированы классические экономические модели пространственного размещения производства, разработанные И. Тюненом, В. Лаунхардтом и А. Лёшем, а также вклад российских ученых, включая В.И. Вернадского и представителей школы территориальных систем Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук. Также проанализированы современные методы решения задачи, базирующиеся на математическом программировании, дискретной оптимизации, методах нечеткой логики, геоинформационных системах, статистическом анализе экспертных оценок, многокритериальном анализе и иерархическом моделировании. Особое внимание уделяется методам решения задач охвата, определению центра тяжести, имитационному моделированию, применению теории стабильного соответствия и факторному аналитическому подходу. В результате анализа определены ограничения существующих подходов, обусловленные недостатками дискретных моделей и случайными ошибками в статистических методах при слабо формализованных условиях. Сделан вывод, что, в связи с отсутствием универсального метода решения задачи размещения, необходимы дальнейшие исследования и разработка новых, более эффективных методик и подходов для решения этой сложной и многогранной проблемы.

**Ключевые слова:** размещение объектов, пространственное размещение, математическое программирование, дискретная оптимизация, многокритериальный анализ, геоинформационные системы

## EVOLUTION OF THEORIES AND METHODS OF OPTIMAL PLACEMENT OF OBJECTS: FROM CLASSICAL CONCEPTS TO MODERN APPROACHES

Prutovych M.A.

*Khakass State University named after N.F. Katanov, Abakan,  
e-mail: prutovyh\_ma@mail.ru*

The article presents a historical and analytical review of theories and methods of optimal placement of objects on a geographical territory, covering the period from the 19th century to the present. The aim of the work is a comprehensive review of the evolution of theoretical approaches to solving the problem of optimal placement of objects of various nature on a geographical territory. The literature search was carried out in the ScienceDirect, eLIBRARY.RU, CyberLeninka databases for the period from 1994 to 2024. In total, about 136 sources were analyzed, 14 of which are included in the list of references. The study analyzed classical economic models of spatial placement of production developed by I. Thunen, W. Launhardt and A. Lösch, as well as the contribution of Russian scientists, including V.I. Vernadsky and representatives of the school of territorial systems of the Institute of Economics and Industrial Organization of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Also analyzed are modern methods of solving the problem, based on mathematical programming, discrete optimization, fuzzy logic methods, geographic information systems, statistical analysis of expert assessments, multicriteria analysis and hierarchical modeling. Particular attention is paid to methods for solving coverage problems, determining the center of gravity, simulation modeling, applying the theory of stable correspondence and the factor analytical approach. As a result of the analysis, limitations of existing approaches are determined, caused by shortcomings of discrete models and random errors in statistical methods under poorly formalized conditions. It is concluded that due to the lack of a universal method for solving the placement problem, further research and development of new, more effective methods and approaches are needed to solve this complex and multifaceted problem.

**Keywords:** placement of objects, spatial placement, mathematical programming, discrete optimization, multicriteria analysis, geographic information systems

### Введение

Для эффективного развития территорий ключевым фактором является оптимальная организация пространства. Эффективная

организация территорий позволит получить ряд преимуществ, в том числе рациональное использование географических ресурсов, обеспечение максимальной до-

ступности объектов, повышение прибыльности производственных объектов, минимизация транспортных затрат. Одним из наиболее важных вопросов, решаемых при организации территории, является решение задачи о размещении объектов различной природы.

**Цель исследования** – разработка теоретически обоснованных и эмпирически подтвержденных рекомендаций по оптимизации управленческих решений в сфере размещения объектов. Для достижения этой цели проводится анализ существующих теорий размещения производственных объектов, выявляются особенности и факторы, влияющие на решения о размещении.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются теоретические и методологические подходы к размещению объектов различной природы на географической территории. Информационной базой послужили статьи, монографии и другие научные публикации, посвященные теориям размещения, факторам размещения, методам решения задач размещения и использованию геоинформационных систем. Поиск публикаций осуществлялся в базах данных ScienceDirect, eLIBRARY.RU и КиберЛенинка. Временной промежуток поиска охватывал публикации с 1994 по 2024 г. Систематический поиск выполнялся по международно-согласованному протоколу PRISMA [1]. В процессе исследования было проанализировано более 136 источников, из которых 14 наиболее релевантных работ включены в список литературы. В качестве методов исследования использовались сравнительный и системный анализ, логический и исторический методы.

### Результаты исследования и их обсуждение

#### 1. Исторический обзор

Для обеспечения эффективного функционирования производственных объектов много значит решение задачи выбора правильного месторасположения. Изначально этот вопрос решался учеными-экономистами. Одним из первых таких ученых был Иоганн Генрих фон Тюнен, который в работе «Изолированное государство» (1826 г.) предложил для решения задачи эффективного размещения производства использовать пространственные методы анализа. Как отмечают современные исследователи [2, с. 569], в качестве оптимизационного критерия И. Тюнен обозначил минимизацию транспортных затрат. Также в работе

[2, с. 571] отмечены следующие недостатки теории: вся теория базируется на абстрактных предположениях, а также функция транспортных издержек в результате получилась нелинейной, что противоречит изначальному предположению о ее линейности.

В. Лаунхардт в статье «Практика эффективного размещения предприятий» (1882 г.) ставит «проблему трех точек». В работе [2, с. 575] приведена следующая формулировка данной проблемы: «как определить оптимальное место для размещения предприятия, которое производит один вид продукции, при постоянных удельных издержках производства, работает на данный, определенный рынок сбыта и располагает двумя источниками сырья и материалов». Вильгельм Лаунхардт сделал огромный вклад в развитие классической теории размещения, который заключался в представлении следующих основных предположений: поставлена проблема минимизации затрат при эффективном размещении производства, перечислены экономические силы, оказывающие влияние на рациональное размещение, описаны все три метода решения «проблемы трех точек», получено решение простой транспортной задачи. Ограничения предположений В. Лаунхардта заключаются в том, что все решения производятся с предположением о линейности функции транспортных издержек, а также не был учтен факт рассредоточения потребителей и поставщиков в пространстве [2, с. 577].

В 1909 г. Альфред Вебер в работе «О размещении промышленности: чистая теория штандорта» сформулировал общую теорию размещения предприятий и определил систему факторов размещения производства. В работе [3] указано, что А. Вебер выделил три основных фактора: транспортные издержки, издержки на рабочую силу и агломерационная сила. А. Вебер выработал многофакторную теорию размещения промышленного предприятия, но он не вышел за рамки проблемы размещения отдельного предприятия.

В 1933 г. Вальтер Кристаллер в своей книге «Центральные места в Южной Германии» рассматривает эффективное распределение рынков и городов в регионе. Предложенная им теория центральных мест позволяет создать эталон системы расселения. Центральными местами В. Кристаллер называет экономические центры, которые обслуживают товарами и услугами не только себя, но и население своей зоны сбыта [4]. Согласно В. Кристаллеру, зоны обслуживания и сбыта с течением времени оформляются в правильные шестиугольники,

образуя на территории кристаллеровскую решетку. Концепция шестиугольных зон обслуживания и кристаллеровской решетки предоставила аналитический инструмент для понимания и прогнозирования пространственного распределения экономической активности. Ограничения данной концепции заключаются в том, что она не учитывает исторических и социально-экономических факторов, а также в статичности предлагаемой структуры.

В 1935 г. Тод Паландер в труде «Работы по теории размещения» соединил теории размещения предприятий и пространственный анализ рынков. В работе [2, с. 578] отмечается, что Т. Паландер предложил две теории штандорта: первую – для региона и страны; вторую – для предприятий отрасли или группы отраслей. Это позволило рассматривать проблему размещения более комплексно, учитывая как макроэкономические, так и микроэкономические факторы, что значительно продвинуло развитие теории размещения.

В 1939 г. Август Лёш обобщил все существующие исследования по теории размещения производства в трактат «Экономическая теория размещения» (The Economics of Location). В своих работах А. Лёш расширил предмет исследования теории размещения, перешел от уровня отдельных предприятий и поселений к уровню экономических регионов. В работе [2, с. 580] отмечается, что он выделил основные принципы пространственного равновесия. Основываясь на идеях В. Кристаллера, Лёш определил оптимальное место размещения производственных объектов, которым является вершина кристаллеровской решетки [5]. Таким образом, Лёш не только интегрировал теорию Кристаллера в более широкую экономическую модель, но и предложил конкретные критерии для определения местоположения производств с использованием математических методов.

В 1956 г. Уолтер Айзард в книге «Размещение производства и экономика эффективного использования пространства» обобщает все существующие теории размещения и предполагает, что «транспортные затраты» можно определить как перемещение единицы веса на единицу расстояния, «транспортные тарифы» – как цены этих затрат. Исследователи [6] указывают, что У. Айзард применяет методы макроэкономики для исследования регионов и создания моделей пространственного равновесия. Этот комплексный подход позволил расширить горизонты теории размещения и заложить основу для дальнейших исследований в области региональной экономики

и пространственного планирования. Несмотря на критику этих моделей за излишнюю абстрактность и сложность практической реализации, они стимулировали дальнейшее развитие количественных методов в региональной экономике и пространственном планировании.

В середине 1960-х гг. Э. Гувер представил свои работы по экономической организации производства. Он первый выделил три возможных варианта места размещения: возле заказчиков, возле поставщиков, компромиссное решение. В статье [7] исследователями дано описание возможных вариантов. Первый вариант обеспечивает наилучшее взаимодействие с заказчиками, но возрастают транспортные расходы на перевозку материалов от поставщиков. Второй вариант, наоборот обеспечивает низкие затраты на поставку материалов, но в этом случае увеличиваются затраты на исходящий транспортный поток. Третий вариант позволяет достигнуть достаточного качества взаимодействия и с клиентами, и с поставщиками. Данная модель несмотря на некоторую упрощенность, является полезным инструментом для первичного анализа факторов, влияющих на решение о размещении производства.

В 1960-х гг. Франкоисом Перроксом была предложена теория «полюсов роста». В работе [8] дано следующее определение «полюса роста» – «компактно размещенные и развивающиеся отрасли промышленности и отдельные предприятия, которые оказывают влияние на развитие и территориальную структуру хозяйства». Однако Перрокс рассматривал экономическое пространство абстрактно, что ограничивало возможности практического применения его теории. Положения теории Ф. Перрокса Ж. Будвиль перенес на реальное географическое пространство и показал, что экономическое пространство функционально связано с географическим. Основные положения отражены в работе «Проблемы регионального экономического планирования» (1966), где также представлена классификация видов экономических пространств. В статье [8] отражено, что эта работа позволила более эффективно разрабатывать стратегии регионального развития. Однако практическая реализация теории «полюсов роста» часто приводила к усилению региональных диспропорций и концентрации ресурсов в избранных центрах. Продолжил развитие данной теории П. Потье, добавив понятие «осей (коридоров) развития». В статье [9] дано пояснение, что «осями развития» являются территории между полюсами роста, обеспечивающие развитие транспортной

инфраструктуры. Это является немаловажным фактором для решения задачи о размещении производственных объектов.

М. Фуджита и П. Кругман разработали модель «модернизации» теории размещения И. Тюнена. Она заключается в следующем: промышленное производство концентрируется в городе, затем концентрация экономической активности влияет на развитие потенциала рынка, где определяется месторасположение производства. Вокруг производственного центра распределяется аграрное производство в виде концентрических колец Тюнена с изменяющимся значением земельной ренты. Данная модель свойственна для малонаселенных территорий. Данную модель изменили М. Фуджита и Т. Мори, добавив предположение об увеличении населения. Описание данной модели представлено в работе [10]. Это приводит к созданию новых городов, а значит, новых производственных центров. Также М. Фуджита и Т. Мори выполнили анализ транспортных узлов и сделали вывод о том, что они влияют на увеличение потенциала рынка, а соответственно, в будущем могут стать центрами роста. Все кумулятивные теории развития имеют ряд общих недостатков: не учитывается влияние малых предприятий на развитие, не рассматриваются вопросы внутренней согласованности производственной системы, не реализуются основные правила новых форм территориальной организации производства.

В российской науке начало исследований факторов территориального размещения производственных сил было положено В.И. Вернадским, целью исследований было рациональное использование природных ресурсов. В 1930 г. Комиссия по изучению естественных производительных сил (КЕПС) была преобразована в Совет по изучению производственных сил (СОПС). Цель совета заключалась в обосновании размещения и развития производственных объектов. В результате работы совета были сформулированы основные принципы районирования и размещения производственных предприятий: специализация районов в соответствии с ресурсами территории; комбинированная система хозяйства; нацеленность на наилучшее развитие территорий; взаимосвязь отдельных районов посредством транспортной сети. Характеристика этих принципов представлена в работе [5].

Дальнейшим развитием теории размещения стало создание теории энергопроизводственных циклов Н.Н. Колосовского, которая послужила основанием для формиро-

вания территориально-производственных комплексов [11]. Исследования проблем территориального развития страны в основном сформированы трудами ученых, работавших в отделе территориальных систем Института экономики и организации промышленного производства СО РАН. Представители данной научной организации: А.Г. Гранберг, М.К. Бандман, С.А. Суспицын, В.Н. Богачев, Б.П. Орлов.

Все рассмотренные выше теории дали основу для развития теории о размещении объектов различной природы, определив основные принципы решения данной задачи, а также основные факторы, влияющие на выбор месторасположения объектов. К ним можно отнести следующие: расстояние до рынка сбыта, транспортные издержки, издержки на рабочую силу, охват зоны обслуживания, развитие транспортной инфраструктуры, расположение природных ресурсов, производственные связи.

## 2. Современные методы

Современные теории строятся с применением различных математических методов и информационных технологий: математического программирования и моделирования, дискретной оптимизации, нечеткой логики, геоинформационных систем и т.д. Наиболее распространенными методами являются: решение задачи охвата и единого среднего, определение центра тяжести, имитационное моделирование, метод CHAID и модели пространственного распределения, модели мультиномиального логита (MNL) [12], применение теории стабильного соответствия, факторный аналитический подход, также очень часто используются комбинированные методы, например модель для анализа решений выбора местоположения для объектов с использованием серии дискретных моделей выбора. Задачи размещения объектов относят к классу задач дискретной оптимизации, в частности к задачам о наименьшем покрытии множества. Для решения подобных задач предлагаются следующие методы: дихотомическое программирование, сетевое программирование, ветвей и отсечений, алгоритм перебора  $L$ -классов, использование различных эвристических подходов. Использование дискретных моделей имеет одно существенное ограничение – изначально должны быть определены все возможные места размещения. В случае слабо формализованных условий задачи о размещении объекта используют статистические методы анализа экспертных оценок, экспертные методы прогнозирования. Данные методы основаны на сборе и анализе статистической

информации. Они характеризуются наличием случайной ошибки.

Также задачи о размещении объектов относят к классу многокритериальных задач, так как для выбора наиболее оптимального места локации необходимо учесть множество параметров [13]. Для решения многокритериальных задач размещения сети взаимосвязанных объектов предлагается метод анализа иерархий. Метод основывается на построении иерархии проблем и дальнейшей обработке полученных количественных оценок попарным сравнением. Он позволяет получить более реалистичные показатели на основе субъективных оценок специалистов конкретной области по математически обоснованной фундаментальной шкале. В сложных системах взаимосвязанных объектов присутствуют обратные связи и стохастические процессы, что усложняет применение метода анализа иерархий. Вместо него предлагается использовать обобщенный метод аналитических сетей, который бы позволил учитывать обратные связи системы.

Для решения пространственных задач применяют технологии пространственного анализа посредством использования проблемно-ориентированных геоинформационных систем. В основе данного метода лежит создание модели географической территории, которая затем проходит ряд процедур для решения задач о размещении объектов [14]. В то же время существует ряд недостатков, ограничивающих применение геоинформационных систем. К ним относят устаревание картографических материалов и невозможность полностью формализовать все процедуры их создания. При постоянном устаревании информации поддерживать актуальность используемых картографических материалов достаточно сложно и требует дополнительных затрат. Это приводит к необходимости с некой периодичностью обновлять имеющиеся данные о территории. Для реализации решения любой пространственной задачи с помощью геоинформационных технологий необходима работа человека, что приводит к возникновению неточностей и повышению степени субъективности принимаемых решений. Для уменьшения вероятности возникновения данного вида риска необходимо четко определить правила работы с картографическими материалами, а также использовать дополнительные математические методы для повышения объективности решения.

### Заключение

Данное исследование направлено на разработку рекомендаций по оптимизации

управленческих решений в сфере размещения объектов, что является критически важным для эффективного развития территорий. В статье представлен анализ существующих теоретических подходов к размещению производственных объектов, начиная с классических работ Тюнена, Лаунхардта и Вебера и заканчивая современными моделями, использующими математическое программирование, геоинформационные системы и другие передовые инструменты. Выявлены ключевые факторы, влияющие на решения о размещении, такие как транспортные издержки, доступность трудовых ресурсов, агломерационные эффекты, пространственное распределение спроса и предложения, а также территориальные особенности. Показана эволюция подходов к размещению, от минимизации транспортных затрат до учета множества критериев и взаимосвязей между объектами. Исследование подчеркивает важность комплексного подхода к размещению объектов, учитывающего различные экономические и пространственные факторы. Дальнейшие исследования будут направлены на преодоление ограничений существующих теорий и методов, а также на разработку практических рекомендаций для принятия управленческих решений в сфере размещения объектов.

Исследования по получению новых методов и методик для решения задачи о размещении производственных объектов проводятся до сих пор ввиду отсутствия универсальных. Для получения наиболее оптимального решения задачи о размещении объектов предлагается использовать комплекс математических методов и геоинформационных технологий. Такой подход позволит решить задачу о нахождении локации объектов различных типов с учетом всех необходимых критериев. Ограничением данного подхода является необходимость программного внедрения предлагаемой модели в геоинформационную систему.

### Список литературы

1. Белобородов В.А., Воробьев В.А., Семинский И.Ж., Калягин А.Н. Порядок выполнения систематического обзора и метаанализа по протоколу PRISMA // Система менеджмента качества: опыт и перспективы. 2023. № 12. С. 5–9. EDN: RSMJTG.
2. Блауг М. Экономическая мысль в ретроспективе. М.: Дело ЛТД, 1994. 720 с. ISBN 5-86461-151-4.
3. Садыкова А.И. Сущностные аспекты теорий пространственного развития // Индустриальная экономика. 2022. Т. 5. № 1. С. 514–518. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/suschnostnye-aspekty-teoriy-prostranstvennogo-razvitiya> (дата обращения: 11.06.2025). EDN: VTOTLM.
4. Антонюк В.С., Козина М.В., Вансович Э.Р., Сигатова Н.А. Формирование и развитие городских агломераций

ций: теоретико-методологические аспекты исследований // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2021. Т. 15. № 2. С. 7–19. DOI: 10.14529/em210201. EDN: WLQOVD.

5. Проскурнова К.Ю. Эволюция взглядов на факторы пространственного размещения производительных сил: от материальных факторов к институтам // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2021. № 5. С. 64–71. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-5-64.

6. Тимофеев Р.А. К вопросу о теории пространственного развития // Устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации: сборник трудов XXIII Всероссийской научно-практической конференции (Симферополь, 18–19 ноября 2021 г.). Симферополь: ООО «Ариал». 2021. С. 145–150. EDN: JGYLAR.

7. Belousova E.A. The potential of spatial economic theories in studying municipalities' economic well-being // Journal of New Economy. 2024. Vol. 25, Is. 3. P. 26–52. DOI: 10.29141/2658-5081-2024-25-3-2. EDN: KUSYUV.

8. Носонов А.М. Теории пространственного развития в социально-экономической географии // Псковский региональный журнал. 2011. № 11. С. 3–16. EDN: NUAPHJ.

9. Цветцых А.В., Шевцова Н.В. Концепция пространственного развития агропромышленного комплекса Красноярского края // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2021. Т. 10. № 2 (35). С. 379–382. DOI: 10.26140/anie-2021-1002-0083. EDN: DAHGRZ.

10. Гаджиев Ю.А. Зарубежные новые теории регионального роста и развития // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера. Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2008. № 2. С. 26–36. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zarubezhnye-novye-teorii-regionalnogo-rosta-i-razvitiya> (дата обращения: 11.06.2025).

11. Юдина Н.В. Теории пространственного размещения: мировоззренческие основы и перспективы применения // Архитектура и современные информационные технологии. 2022. № 3 (60). С. 163–180. DOI: 10.24412/1998-4839-2022-3-163-180. EDN: ATLTLP.

12. Ahmed U., Hawkins J., Roorda M.J. Establishment location choice model considering intra-firm interactions // Journal of Transport Geography. 2022. Vol. 102. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2022.103391.

13. Рожко О.Н., Шихалев А.М. Оценка вариантов размещения логистических объектов на территории региона методом многокритериальной оптимизации (на примере Республики Татарстан) // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2017. Т. 10. № 6. С. 153–169. DOI: 10.15838/esc.2017.6.54.10. EDN: VUDANN.

14. Майманова Е.А., Бочкарева И.И. Использование ГИС-технологий для выбора мест размещения полигонов ТКО // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 4. № 2. С. 124–126. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-4-2-124-126. EDN: NZYHOL.