

УДК 332.1

*А. И. Труфанов<sup>1</sup>, М. В. Куклина<sup>1</sup>, В. Н. Богданов<sup>2</sup>, А. М. Махакова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Иркутский Национальный исследовательский технический университет,  
Иркутск, e-mail: ayunamahak@gmail.com;

<sup>2</sup>Институт географии им. В.Б. Сочавы, Иркутск

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СЕТЕВЫХ ДАННЫХ В СЛОЖНЫЕ СЕТИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**Ключевые слова:** сетевая наука, интерпретация в сети, преобразование в сложные сети.

В статье представлены несколько способов преобразования различных практик в сложные сети, затрагивая теорию графов. Цель исследования заключается в том, чтобы оказать пользу использования сетевого подхода для изучения системы, в том числе для управления территориями. Сетевая наука привлекает учёных своим широким применением в различных видах деятельности: в экономике, в управлении. В статье показывается интерпретация некоторых объектов, процессов, данных с их внутренней природой в сети. Наоборот, для данных, которые весьма затруднительно интерпретировать в сложные сети (NUD), т. е. пространственных и временных, в силу их разнообразия, и многие учёные сталкиваются с проблемой подбора алгоритма преобразования. В процессе исследования был использован трехступенчатый алгоритм сетевизации. Мы выделили основные свойства данных в соответствии с их масштабными различиями – по расстоянию, времени и характеру и предложили трехэтапный алгоритм (основанный на масштабе метод) для сохранения реальных характеристик практики в интерпретации сложной сети. Мы опробовали эту методику на ландшафте и картах землепользования, представляющих РФ вблизи озера Байкал, Ольхонский район, Иркутская область. Это позволило выявить, что генерализация карт привносит некоторые детали и изменённые сетевых отпечатков, но не приводит к существенной трансформации топологии сети. Также рассмотрено как вид дополненной индексации больших данных с использованием сетевых показателей обеспечивает высокую производительность поиска в заданном домене. Основной вывод в статье: важно учитывать природу и особенности сети в отличие от данных, рассматривая их как сети.

*A. I. Trufanov<sup>1</sup>, M. V. Kuklina<sup>1</sup>, V. N. Bogdanov<sup>2</sup>, A. M. Makhakova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: ayunamahak@gmail.com;

<sup>2</sup>Institute of Geography named after V.B. Sochavy, Irkutsk

## TRANSFORMATION OF NETWORK DATA INTO COMPLEX NETWORKS: PROBLEMS AND PROSPECTS

**Keywords:** network science, interpretation in the network, transformation into complex networks.

The article presents several ways to transform various practices into complex networks, affecting graph theory. The purpose of the study is to provide the benefit of using a network approach to study the system. Network science attracts scientists with its wide application in various types of activities. The article shows the interpretation of some objects, processes, data with their internal nature in the network. On the contrary, for data that is very difficult to interpret in complex networks (NUD), i.e. spatial and temporal, due to their diversity, and many scientists are faced with the problem of selecting a conversion algorithm. In the course of the study, a three-stage algorithm of network optimization was used. We have identified the main properties of the data in accordance with their scale differences – in distance, time and nature, and proposed a three-stage algorithm (scale-based method) to preserve the real characteristics of the practice in the interpretation of a complex network. We tested this technique on the landscape and land use maps representing the Russian Federation near Lake Baikal, Olkhonsky district, Irkutsk region. This revealed that the generalization of maps introduces some details and modified network prints, but does not lead to a significant transformation of the network topology. It is also considered as a type of augmented indexing of big data using network indicators provides high search performance in a given domain. The main conclusion in the article is that it is important to take into account the nature and features of the network, as opposed to data, considering them as networks.

### Введение

Сетевая наука со сложными сетями в качестве основной парадигмы привлекает научные общества с их разнообразными

практическими возможностями. Научное сообщество успешно описывает синтетические и реальные данные с точки зрения сетевых структур и разрабатывает мощные

приложения для дальнейшего эффективного анализа с поддержкой теории графов, теории вероятностей и линейной алгебры.

Чем больше участников в систему, тем больше аргументов в пользу использования сетевого подхода для изучения системы.

Некоторые системы с присущей им веб-природой были интерпретированы как сети, например, транспорт, связь и другие, критически важные инфраструктуры. Туризм [1], поездки на работу [2], торговля [3] – деятельность, связанная с путешествиями, также представлена сетями без проблем. Подобные социальные контакты [4, 5] и соответствующие процессы распространения информации и инфекций [6] имеют одинаковый профиль. Такие системы и данные называются сетевыми объектами [7]. Исследование сетевых объектов [8] представляет особый интерес для различных областей, как теоретических, так и практических [9, 10]. Это традиционный способ изобразить их в формализме теории графов и перемешать слова последней и сетевой науки.

В то же время имеет смысл провести границу между математикой и сетевыми науками, просто чтобы прояснить, на какой области сосредоточены проблемы. Таким образом, если использовать термины «связность», «узлы» и «связи», нет сомнений в том, что в теории графов представлена сетевая наука, а не математика.

Сложные сети расширяют под платформу теории графов, встраивая меры, методы и инструменты, основанные на важных свойствах реальной системы. Инструмент для преобразования так называемых сете-

вых данных был предложен в работе Дирнбергера М., Келя Т. и Ноймана А. [8].

Однако следует тщательно продумать даже данные сетевого типа, такие как встроенные транспортные системы. Специалистам необходимо принимать во внимание тот факт, что не все сложные сетевые концепции применимы к контексту транспортировки и что некоторая адаптация может потребоваться [11].

Таким образом, для транспортных систем обычно рассматриваются неоднозначные модели, по крайней мере, модели L- и P- [12], как показано в [13] для российских железных дорог (рис. 1).

Что касается пространственных и временных сетей – в отличие от данных (NUD), их сетевые интерпретации весьма разнообразны, и исследователи сталкиваются с трудной проблемой, какой алгоритм преобразования следует применять для лучшего результата.

### Материалы и методы исследования

Если традиционно вопросы функционирования актор-сетей изучались непосредственно в плотных городских условиях, то в Байкальском регионе есть возможность сфокусироваться на тех ареалах, где подобные сети имеют наименьшую плотность. Подобная перспектива позволяет более детально рассмотреть влияние каждого участника сети в отдельности, благодаря их разреженности, изучить значимость и прочность тех или иных сетевых связей, и на основе их анализа рассматривать территориальные закономерности формирования социально-экономических ассоциаций.

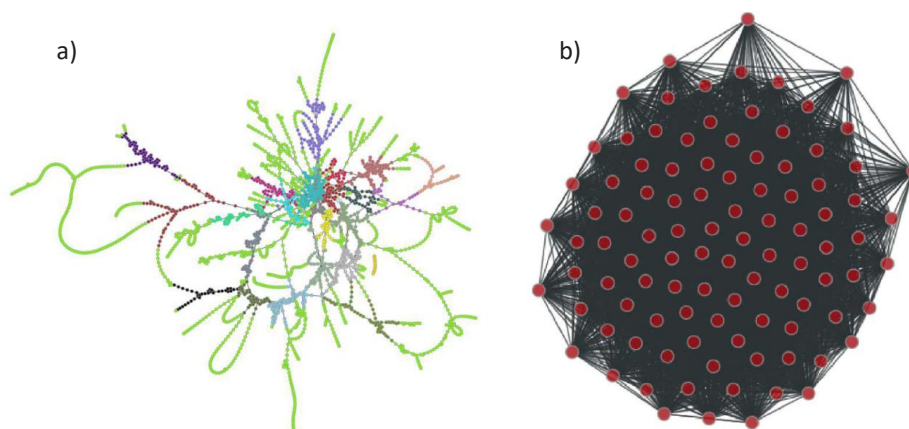


Рис. 1. Российские железные дороги представлены в виде сетевых моделей в L-пространстве (а) и P-пространстве (б) соответственно

Характерно, что АСП описывает любые отношения, которые носят материализованный характер. Участниками отношений могут быть как люди, так и иные сущности, которые, также наделяются субъектностью деятельности, становятся актантами. Полученная в результате анализа актор-сетей информация позволяет далее развивать исследования на платформе комплексных сетей.

Данный подход частично опирается на комплексные исследования, посвященные изучению устойчивого развития туризма [14, 15].

В Байкальском регионе комплексные исследования представлены работами [16, 17] и др. В работе Даниленко Н.Н. и Рубцова Н.В. [16] рассчитана оценка результативности сферы рекреации и туризма с помощью показателей социально-экономической эффективности на основе официальных статистических данных Иркутскстата и Бурятстата. Однако не решенным остаётся вопрос о соизмеримости различных факторов, влияющих на устойчивое развитие. Кроме того, обобщение туризма как общего набора количественных характеристик оставляет вне пределов внимания разнообразие и роль различных акторов, вовлекаемых в данную сферу.

С другой стороны, используются разработки в сфере изучения лишь единичных факторов (например, только экономические или т.п.). Примерами исследования отдельных факторов являются: оценка рекреационных ресурсов [18, 19]; этнорекреационных ресурсов [17]; транспортной доступности и сезонности [20]; инфраструктуры пространственных данных Байкальского региона [21].

Дополняя проведенные ранее исследования, мы нацелены на детализацию различных акторов, действующих в сфере туризма, и изучение взаимосвязей и взаимозависимости между ними при помощи комбинирования различных методов: наблюдение с элементом описательности; исторический; сравнительный; картографический; аналитико-статистический; экспедиционных исследований; математического моделирования; социологический.

Полученная в результате анализа актор-сетей информация позволит далее развивать исследования на платформе комплексных сетей.

В противоположность акторно-сетевому подходу теория комплексных сетей (ТКС),

разграничивает сущности в соответствии с их свойствами. ТКС обратила на себя внимание и зарекомендовала, как надежный подход к решению сложных многоакторных задач в системах любой природы [22, 23]. Важно, что интерпретировать всю сложность систем оказалось возможно широким спектром сетевых представлений, в том числе в виде сетей: временных (динамических) [24], многослойных (мультиплексов) [25], взаимозависимых [26], ствольных [27], комбинированных [28], агрегированных [29], а также их обобщения – кружева единых сетей (КЕС) [30].

В общем, техника отображения временных данных – временных рядов в сложные сети представлена тремя следующими шагами: сегментация по заданной длине времени, огрубление диапазонов, привязка диапазонов с необходимыми весами.

Можно найти множество способов преобразования временных рядов в сложные сети, среди которых можно перечислить:

- Крупнозернистая на основе статистики сегментов (CBS) [31];
- График видимости (VG) [32], а также мультиплексный граф видимости (MVG) [33];
- Локальная сортировка (LS) [34].

В то же время существует несколько надежных практик, которые используют сложные сети для анализа и классификации пространственных данных (изображений или карт).

В работе [35] было продемонстрировано, что при случайном разделении плоскости на пересекающиеся смежные фрагменты можно построить безмасштабную сеть, в которой узлы являются фрагментами, а соединения соответствуют общим границам между фрагментами. Это образует «пограничный» подход.

Второй подход можно назвать «пиксельным соседством». Чтобы рассматривать цифровое изображение как сложную сеть: каждый пиксель представляет собой узел; те, которые связаны в соответствии с их окрестности в месте и сходства в интенсивности. Кроме того, был изучен набор сложных сетевых показателей для адекватного моделирования изображений.

Третий подход, так называемый «подход к графам видимости изображений (IVG)» с рядом графов видимости изображений (IVG / INVG), был представлен как простые алгоритмы, с помощью которых скалярные поля могут отображаться в графы [36].

Представляется целесообразным применить подход только для максимального сохранения внутренней информации исследуемой системы (NUD). Сравнение сетевых подходов может быть качественным и количественным (например, по метрике энтропии).

#### Модель

В отличие от хорошо известных подходов к отображению NUD (представленных как пространственные и временные данные) в сложные сети с одним масштабом, мы концентрируемся на разделении свойств данных в соответствии с их масштабным разнообразием – по расстоянию, времени и природе. Мы называем этот процесс трансформации очень простым: «сетевая обработка».

Для получения пространственных данных отраженных в карте мы предлагаем трехступенчатый алгоритм сетевизации (на основе методики масштабирования, частично аналогичной предыдущему подходу [37]), который позволяет укрупнить изучаемые области.

Во-первых, внутри выбранной области строится регулярная (или нерегулярная) сеть, размер которой зависит от площади  $S$  площади и ее формы (рис. 2).

Количество узлов в зоне  $N_{\text{local}} \sim S$ .

Два узла соединяются, если расстояние между ними меньше порогового значения ( $< d_{\text{cut}}$ ). Альтернативным соединением может быть решетчатая сетка. Также имеет смысл построить локальную сеть как регулярную сетку в случае регулярного заполнения узлов.

На втором этапе области в виде огрубленных объектов изображаются узлом или несколькими внутренними узлами (центральными узлами), количество которых зависит от соответствующего размера внутренней сети. Центральные узлы разных областей связаны между собой в случае общей границы между двумя областями (рис. 3). Количество звеньев зависит от длины общей границы: Количество зерен площади (суперузлов)  $f$ : Масштаб  $\rightarrow N_{\text{гран}}$ .

Количество связей между узлами в зернах  $i$  и  $j$  соответственно с общей границей:

$$M_{\text{зерно } i, j} \sim L(i, j) / \text{Sum}(L(i, j)),$$

где  $L$  – длина границы между  $i$  и  $j$  зернами.

В-третьих, близкие по природе участки имеют вероятность быть соединенными даже без общей границы и в случае, когда их евклидово расстояние значительно (рис. 4). Вероятность связи между зернами схожей природы  $P$  (зерно связи  $S_{ij} = 1$ , если Манхэттенское расстояние  $(i, j)$  меньше подходящего порогового значения  $b_{\text{отсечения}}$ ).

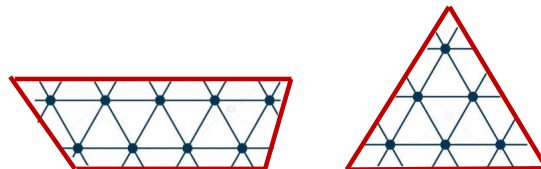


Рис. 2. Шаг № 1 алгоритма, который отображает частицы пространственных данных в сложную сеть: триангуляция



Рис. 3. Шаг № 2 алгоритма, который отображает пространственные данные в сложную сеть: ссылки для огрубленных областей

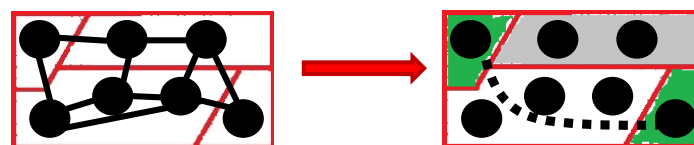


Рис. 4. Шаг № 3 алгоритма, который отображает пространственные данные в сложную сеть: связь для областей схожего характера



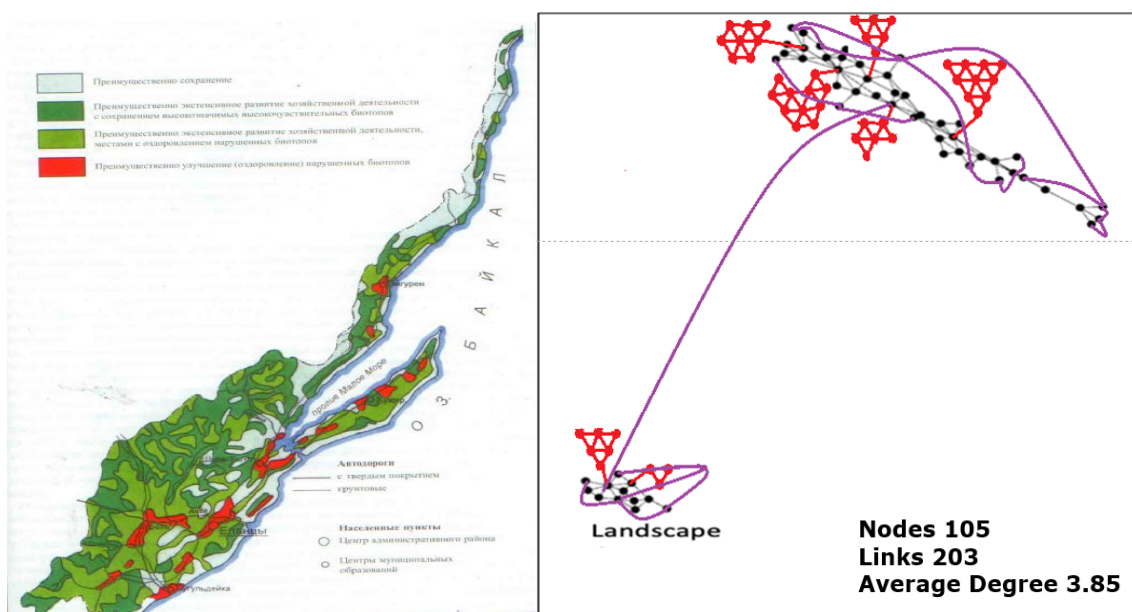


Рис. 5. Сетевое оформление ландшафтной карты Ольхонского района (озеро Байкал)

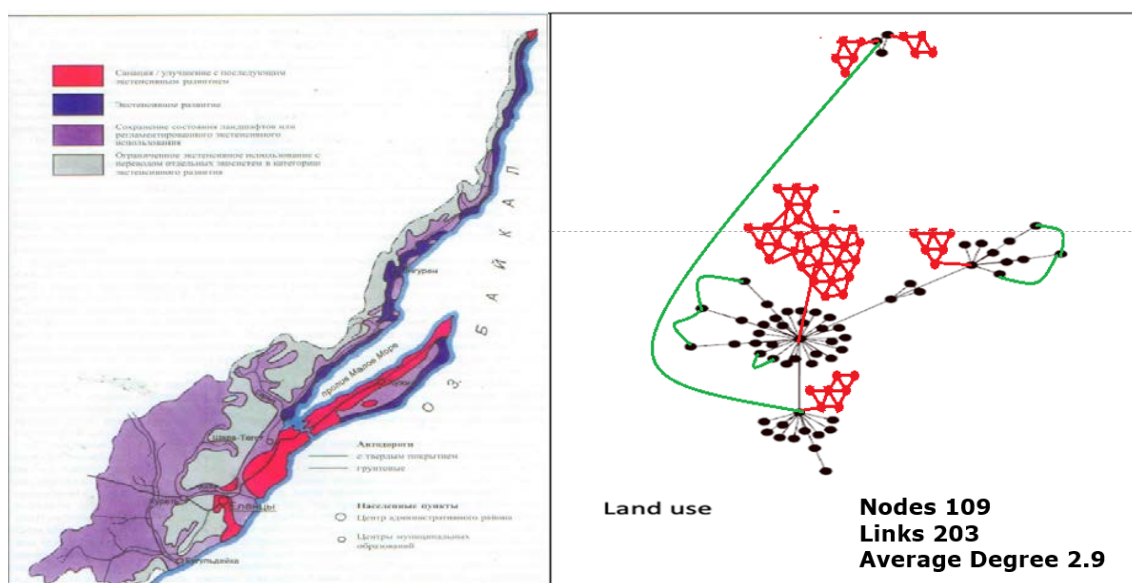


Рис. 6. Сетевизация земельного использования карты, представляющей Ольхонский район (озеро Байкал)

Данная методика масштабирования была применена для создания сети ландшафтных карт и карт землепользования, представляющих Ольхонский район, Иркутская область, РФ вблизи озера Байкал (рис. 5 и рис. 6 соответственно).

Мы обнаружили, что крупнозернистые и зональные соединения полностью формируют без масштабные и свойства малого мира, «резко уменьшая среднюю длину

кратчайшего пути» [38] в выходных сетях, тем самым принося в их структуры реальную сложность.

Генерализация карт приносят некоторые детали и измененные сетевых отпечатков, но не приводит к существенной трансформации топологии сети.

Похоже, что полукачественный и полук количественный подход к сети, применяемый в работе, и последующий метод, осно-

ванный на масштабе, обеспечивают сохранение информации, лежащей в основе NUD, при отображении их в сеть.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В соответствии с Глоссарием IT Gartner и схожими с его терминами оцифровки [39] и цифровизации [40], мы определяем термин «сетевая обработка, или сетирование» как «использование сетевой платформы для изменения научной или бизнес-модели и обеспечения новых достижений и доходов и возможности для создания знаний или создания ценности; это процесс перехода к сетевому домену и обществу в целом». Напротив, «сетевизация» — это «процесс перехода от прямой естественной структурной формы к сети». Другими словами, сетевая обработка берет естественную сущность (систему, процесс и объект) и преобразует ее в сетевую форму без каких-либо других видов изменений самой сущности. Таким образом, можно «объединить в сеть» только сетевые объекты, но для непохожих на сеть объектов, требуется сетевизация.

Приведенные выше примеры сетевизации довольно просты.

Преобразование NUD в многослойные (мультиплексные) сети [41] или в стволые сети [42] можно рассматривать как многообещающие подходы для тщательного изучения более сложных систем реального мира.

Многозальные сами по себе и стволые сети компактные модели, которые стратифицируют взаимодействие между субъектами одного и того же типа (как для случаев сетирования и сетевизации). Эти модели были сформированы как известная платформа для исследования сложных систем в различных областях, охватывающих живые организмы, технологические и природные объекты, человеческие общества и другие [43].

Хранение и регистрация больших данных в формате текстов (литература, научные работы, выступления) и пространственно-временной динамики (аудио- и видеозаписи, представленные в медицине, экологии, геологии, метеорологии и других областях)

требуют эффективных и действенных инструментов для изучения, и использовать это для национального и международного блага. Создание сети сопряжено с серьезными проблемами при извлечении соответствующей информации из огромных ресурсов данных, передаваемых сетевым (или мультиплексным сетевым) отпечатком для каждого файла. Такой вид дополненной индексации больших данных с использованием сетевых показателей обеспечивает высокую производительность поиска в заданном домене. Это кажется перспективным для обнаружения признаков нежелательных региональных и глобальных процессов, вызванных техногенными и природными факторами.

### **Выводы**

В заключение необходимо отметить, что проведенное исследование показывает, что важно учитывать природу и особенности сети в отличие от данных, рассматривая их как сети. Эта область предоставляет исследователю платформу, которая дает преимущество не терять основную информацию и сохранять ее для анализа и использования в любых областях, в том числе для анализа экономических параметров и управления территориями. Информация, скрытая в NUD, может быть полностью унаследована комплексными сетевыми свойствами, в основном распределением степеней и набором соответствующих показателей, которые выявляются посредством масштабной обработки.

Мы уверены, что подход масштабирования к отображению NUD в сложных сетях может быть ценным и надежным как для пространственных, так и для временных данных. Детализация сетевой модели туристской отрасли с расчетом как отдельных элементов сети, так и агрегированных характеристик сети и её компонентов, сообществ и сети в целом даст возможность выявить структурно уязвимые места в региональной туристической системе, и одновременно предложить топологические решения, выводящие систему на новый уровень развития.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научно-го проекта № 18-07-00543 и проекта РФФИ и МОНСМ в рамках научного проекта № 20-57-44002 «Междисциплинарная сетевая платформа моделирования социально-экономических и экологических процессов на трансграничных территориях РФ и Монголии с ограниченной транспортной доступностью»*

*Библиографический список*

1. Baggio R. Изучение сложных туристических систем – новый подход, основанный на сетях, полученных из временных рядов Proc XIV April Int. Академическая конф. по экономическому и социальному развитию. М., 2013.
2. Де Монтис А., Чесса А., Кампанья М., Кашили С., Деппано Г. Моделирование коммутирующих систем с помощью комплексного сетевого анализа: исследование итальянских островов Сардиния // Сицилийский журнал транспорта и землепользования. 2010. Vol. 2. № 3 (4). P. 39-55. DOI: 10.5198/jtlu.v2i3.14.
3. Ли Дж.У., Маенг С.Е., Ха Г.Г., Ли М.Х. и Чо Э.С. Применение сложных сетей для анализа. World Trade Network Journal of Physics: Conference Series 410 012063, 2013. DOI: 10.1088/1742-6596/410/1/012063.
4. Семенов А.А., Mantzaris A.B., Николаев А., Veremyev A., Veijalainen J., Pasilio E.L., Boginski V. Изучение социальных медиа сети Пейзаж постсоветское пространство IEEE Access 7. 2018. P. 411-426. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2885479.
5. Gadek G., Pauchet A., Brunessaux S., Khelif K., Grilheres B. Методы искусственного интеллекта для анализа социальной сети на уровне текста, пользователей и групп: приложение на Galaxy2. 4ème conférence sur les Applications Pratiques de l'Intelligence Artificielle APIA2018. Нанси, Франция, 2018.
6. Wu Q. and Zhu W. К обобщенной теории осведомленности об эпидемии в социальных сетях. International Journal of Modern Physics C. 2017. № 28 (05).
7. Ньюман М. Структура и функции сложных сетей. Обзор SIAM. 2003. № 45. P. 167-256.
8. Дирнбергер М., Кель Т., Нойман А. NEFI: Извлечение сети из изображений Sci Rep. 2015. № 5. P. 15669.
9. Заиди Ф. Анализ, структура и организация сложных сетей. Сеть и архитектура Интернета [cs.NI]. Université Sciences et Technologies – Bordeaux I). 2010.
10. Лю Х.Ф., Це С.К. Общие рамки для сложных сетевых приложений Препринт Arxiv: 1507.05687. 2015.
11. Zanin M., Sun X., Wandelt S. Изучение топологии транспортных систем через сложные сети: обращайтесь с осторожностью. Journal of Advanced Transportation. 2018. № 1. P. 1-17. DOI: 10.1155/2018/3156137.
12. Derrible S., Kennedy C. Транспорт Research Record Журнал исследований Board Транспорт. 2009. № 21 (12). P. 17-25.
13. Тихомиров А., Россодивита А., Кинаш Н., Труфанов А., Берестнева О. 2017 Общая топологическая среда железнодорожной сети России. Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 803 (1). P. 012165. DOI: 10.1088/1742-6596/803/1/012165.
14. Гуляев В.Г., Селиванов И.А. Туризм: экономика, управление, устойчивое развитие: учебник / Российская международная академия туризма. М., 2008. С. 27-28.
15. Киякбаева Е.Г. Индикаторы устойчивого развития туризма и их использование в федеральных программах развития туризма в России. 2014. № 1 (29). С. 78-80.
16. Даниленко Н.Н., Рубцова Н.В. Туризм и устойчивое развитие региона: социальный и институциональный аспекты. Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2013. 157 с.
17. Евстропьева О.В. Этнорекреационный потенциал Байкальского региона // География и природные ресурсы. 2013. № 1. С. 127-135.
18. Байкальский институт рационального природопользования Байкал: природа и люди. Энциклопедический справочник / ред. А.К. Тулохонов. Улан-Удэ: Изд-во БНЦСО РАН, 2009.
19. Абалаков А.Д., Панкеева Н.С. Особенности развития туризма в период глобального экономического кризиса // География и природные ресурсы. 2011. № 3. С. 111-117.
20. Рященко С.В., Богданов В.Н., Романова О.И. Региональный анализ рекреационной деятельности. Иркутск: Изд-во Института географии им В.Б.Сочавы СОРАН, 2008. 143 с.
21. Бешенцев А.Н. Инфраструктура пространственных данных Байкальского региона: размещение и картографирование: материалы Международной конференции «ИнтерКарто/ИнтерГИС». Иркутск, 2016. Т. 22. № 1. С. 105-110.
22. Newman M.E.J., Park J. Why social networks are different from other types of networks. Physical Review E. 2003. Vol. 68. P. 036122.
23. Tikhomirov A., Rossodivita A., Kinash N., Trufanov A., Berestneva O. General topologic environment of the Russian railway network. J. Phys.: Conf. Ser. 2017. № 803 012165. 4 p.
24. Majdandzic A., Podobnik B., Buldyrev S.V., Kenett D.Y., Havlin S., Stanley H.E. Spontaneous recovery in dynamical networks. Nature Physics. 2014. № 10. P. 34-38.

25. Boccaletti S., Bianconi G., Criado R., I Del Genio C., Gomez-Gardenes J., Romance M., Sendina-Nadal I., Wang Z., Zanin M. The structure and dynamics of multilayer networks. *Physics Reports*. 2014. Vol. 544. P. 1-122.
26. Johansson J., Hassel H. An approach for modelling interdependent infrastructures in the context of vulnerability analysis. *Reliability Engineering and System Safety*. 2010. Vol. 95. P. 1335-1344.
27. Тихомиров А., Труфанов А.И., Россодивита А. Модель взаимодействующих стволовых сетей в решении задач топологической устойчивости сложных систем // *Безопасность информационных технологий*. 2013. № 1. С. 125-126.
28. Ashurova Z., Myeong S., Tikhomirov A., Trufanov A., Kinash N., Berestneva O., Rossodivita A. Comprehensive Mega Network (CMN) Platform: Korea MTS Governance for CIS Case Study. *Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM 2016)*. Atlantis Press. 2016. P. 266-269.
29. Tikhomirov A., Afanasyev A., Kinash N., Trufanov A., Berestneva O., Rossodivita A., Gnatyuk S., Umerov R. Network Society: Aggregate Topological Models // *Communications in Computer and Information Science*. Verlag: Springer International Publishing. 2014. Vol. 487. P. 415-421.
30. Zhang Z., Xu J., Zhou X. Отображение временных рядов в сложные сети на основе равновероятного деления AIP Advances. 2019. № 9. P. 015017. DOI: 10.1063/1.5062590.
31. Аминова М., Россодивита А., Тихомиров А.А., Труфанов А.И. Кружево Единых Сетей (Как справляться миром) // *Научные труды Вольного Экономического Общества России*. 2011. Т. 148. С. 190-207.
32. Лакаса Л., Луке В., Луке Дж., Нуну Ж.С. Видимость График: Новый метод оценки Hurst экспоненту дробное броуновское движение. 2009. DOI: 10.1209/0295-5075/86/30001.
33. Лакаса Л., Никосия В., Латора В. Сетевая структура многомерных временных рядов // *Научные отчеты*. 2015. № 5 (1). P. 15508. DOI: 10.1038/srep15508.
34. Sun X., Small M., Zhao Y., Xue X. Описание динамики системы с помощью взвешенной и направленной сети, построенной на основе данных временных рядов Хаос // *Междисциплинарный журнал нелинейной науки*. 2014. № 24. P. 024402. DOI: 10.1063/1.4868261.
35. Hassan M.K., Hassan M.Z., Pavel N.I. Безмасштабная сетевая топология и мультифрактальность в взвешенной плоской стохастической решетке. *New Journal of Physics*. 2010. № 12. P. 093045.
36. Iacovacci Дж., Lacasa L. Видимость графики для обработки изображений. 2018.
37. Труфанов А., Кинаш Н., Тихомиров А., Берестнева О., Россодивита А. Преобразование изображений в сложные сети: подход масштабной сегментации. *Прос. IV Междунар. конф. «Информационные технологии в науке, менеджменте, социальной сфере и медицине» (ITSMSSM 2017)*. Серия: Достижения в области компьютерных наук исследований (ACSR) Atlantis Press). 2017. № 72. С. 417-422.
38. Vespignani Двадцать лет сети науки. *Nature*. 2018. № 558. С. 528-529. DOI: 10.1038/d41586-018-05444-y.
39. Оцифровка Глоссарий Gartner. URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/digitization> (дата обращения: 09.09.2019).
40. Оцифровка Gartner Глоссарий. URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/> (дата обращения: 09.09.2019).
41. Кивеля М., Арена А., Бартелеми М., Глисон Д.П., Морено У., Портер М. 2014 Многослойные сети // *Журнал сложных сетей*. 2014. № 2 (3). С. 203-271.
42. Уразова Н., Кукулина М., Котельников Н., Каймонова О., Труфанов А. 2019 Применение теории сложных сетей в анализе туристической инфраструктуры: тр. Междунар. конф. по гуманитарным и социальным наукам: новации, проблемы, перспективы (HSSNPP 2019) (Atlantis Press). 2019. С. 720-724. DOI: 10.2991/hssnpp-19.2019.137.
43. Хантис О., Интердонато Р., Маньяни М., Тагарелли А., Росси Л. Обнаружение сообщества в мультиплексных сетях. 2019.