

НАУКОМЕТРИЯ. БИБЛИОМЕТРИЯ

УДК [001.83:01] – 047.44 + 001.83:51

<https://doi.org/10.33186/1027-3689-2025-1-33-55>

Исследование тематических сообществ графа соавторства российских математиков

А. А. Печников

*Карельский научный центр РАН, Петрозаводск, Российская Федерация,
pechnikov@krc.karelia.ru*

Аннотация. Предложен подход к исследованию тематических сообществ, основанный на графе соавторства учёных, выполняющих исследования в рамках одной научной дисциплины. Графы соавторства являются одними из часто исследуемых конструкций научного сотрудничества из-за изначальной очевидности определения «знакомства» учёных, что документируется самими статьями. Характерная особенность многих реальных сетей заключается в наличии у них свойства кластеризации, в соответствии с которым топология графа, являющегося моделью реальной сети, организована в сообщества, то есть подграфы, имеющие больше связей внутри себя, чем вовне. Анализ полученного разбиения графа соавторства на сообщества позволяет получить базовые характеристики сообществ, такие как их тип (тематическое направление исследований), количество учёных, входящих в каждое сообщество, и связей между ними. В случае наличия сообществ с одинаковой тематикой их укрупнение задаёт перечень основных направлений исследований в рамках научной дисциплины и обобщённые данные типа суммарного количества сообществ и учёных в каждом укрупнённом направлении. Эти данные, в свою очередь, могут быть использованы для принятия управленческих решений по стимулированию научных направлений, представляющих безусловную актуальность и практическую ценность на сегодняшний день. Изложены результаты апробации предложенного подхода на основе данных математического портала Math-Net.Ru. С практической точки зрения результаты апробации непосредственно указывают на необходимость стимулирования работ по таким направлениям, как роботы и робототехнические системы, горение и взрыв, методы и системы защиты информации. Результаты апробации предлагаемого подхода показывают адекватность используемых математических моделей и потенциал его прямого переноса на другие научные дисциплины. Основным условием такого переноса

является наличие полной и достоверной базовой библиографической информации о соавторстве учёных в предполагаемой к исследованию научной дисциплине за достаточно большой временной отрезок.

Ключевые слова: наукометрия, библиометрия, соавторство, граф, модулярность, сообщество

Благодарности: разработчикам проекта Math-Net.Ru за многолетнее успешное сотрудничество и предоставленные данные.

Для цитирования: Печников А. А. Исследование тематических сообществ графа соавторства российских математиков // Научные и технические библиотеки. 2025. № 1. С. 33–55. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2025-1-33-55>

SCIENTOMETRICS. BIBLIOMETRICS

UDC [001.83:01] – 047.44 + 001.83:51
<https://doi.org/10.33186/1027-3689-2025-1-33-55>

The study of thematic communities within the Russian mathematicians co-authorship graphs

Andrey A. Pechnikov

*Karelian Research Center, Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russian Federation, pechnikov@krc.karelia.ru*

Abstract. The author proposes an approach to study special interest communities based on the graph of researchers carrying up studies within the same discipline. The co-authorship graphs are the constructs of scientific collaborations popular owing the initial apparent “acquaintance” of the researchers documented in their articles. Many real networks are characterized by the clusterization, which means that the graph topology, as a real network model, is organized in communities, i. e. subgraphs with more internal connections than external ones. The analysis of communities resulted from co-authorship graph breakdown enables to identify the basic characteristics of the communities, e. g. their type (research thematic

lines), number of researchers in the community and their interconnections. In the case of several communities of the same special interest, their consolidation determines the main lines of studies within the scientific discipline and generalized data like the total number of communities and researchers in each consolidated community. In their turn, these data can be used for administrative decisions on stimulating relevant and actionable studies. The author discusses the results of testing of the proposed approach on the basis of Math-Net.Ru portal data. Practically, the testing results prove the need to stimulate the studies in robotics and robotic systems, combustion and explosion, information protection methods and systems. The testing results evidence on the adequacy of the used mathematic models and potentiality of the approach direct transfer to other disciplines. The key is to have the complete and reliable basic bibliographic information on co-authorship within the scientific discipline under the study for the large enough time period.

Keywords: scientometrics, bibliometrics, co-authorship, graph, modularity, community

Acknowledgements: To Math-Net.Ru project developers for the long successful cooperation and reported data.

Cite: Pechnikov A. A. The study of thematic communities within the Russian mathematicians co-authorship graphs // Scientific and technical libraries. 2025. No. 1, pp. 33–55. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2025-1-33-55>

Введение

Анализ наукометрической информации тесно связан с задачами прогноза развития науки, повышения качества существующих, выявления и развития новых направлений исследований [1, 2]. Хотелось бы, чтобы результаты такого анализа представляли не только научный интерес, но и реально использовались для определения объективных критериев качества исследовательской работы и принятия решений по её финансированию.

Методы и подходы к решению таких задач во многом зависят от масштаба исследования. К задачам мирового масштаба можно отнести

построение глобальной карты мировой науки Map of Science¹. Сегодня она включает в себя более 130 млн научных публикаций со всего мира, алгоритмически организованных более чем в 116 тыс. исследовательских кластеров. Более ранняя и менее масштабная работа [4] использует информацию Institute for Scientific Information, разработчика Web of Science. Основой служат данные о цитировании более 6 тыс. журналов, разбитых на 172 категории. Интересно, что карта поддерживается на сайте одного из авторов до сих пор².

Масштабные проекты создаются по единому для различных научных направлений методу, что не всегда подходит для анализа отдельных научных дисциплин, теряющихся на визуальных представлениях, а также из-за возможной неполноты данных и высоких барьеров цитирования в масштабных проектах. В работе [5] отмечается, что «...целесообразно модифицировать наукометрический инструментарий и анализировать специализированные информационные потоки, как продемонстрировал один из авторов статьи на примере химической технологии и прикладной химии». Заметим, что упомянутая в этой цитате статья [6] написана более 30 лет назад.

Известно большое количество российских и зарубежных работ, основанных на библиографической информации, в которых исследуются коммуникации учёных в различных областях науки и затрагиваются различные аспекты этой проблематики.

Например, в [7] подход, основанный на исследовании динамики графа соавторства с использованием авторской базы данных, используется для изучения российских региональных групп по истории. В [8] исследованы закономерности научного сотрудничества российских учёных в области математики и смежных областей с использованием теории графов и анализа соцсетей. В [9] рассмотрен случай соавторства локального подразделения вуза, сделаны рекомендации по совместным исследованиям.

В последние годы активизировались исследования графов соавторства российских учёных в области физики [10, 11] и экономики [12, 13].

¹ Map of Science. URL: <https://sciencemap.eto.tech> (дата обращения: 23.03.2024).

² Без наименования. URL: <https://www.leydesdorff.net/map06> (дата обращения: 23.03.2024).

Среди большого количества зарубежных работ отметим два наиболее нестандартных исследования по медицине и экономике. В [14] рассматривается вопрос так называемого «политического соавторства», когда группа соавторов формируется, чтобы добиться публикации в авторитетном медицинском журнале. В [15] по данным за последние шестьдесят лет показано, что вероятность написания в соавторстве статьи в журналах по общей экономике выше, чем в журналах по экономической истории.

Данная работа посвящена исследованию взаимодействия учёных-математиков, понимаемого как коммуникации между представителями различных разделов математики, реализуемые посредством соавторства, то есть создания общими усилиями публикаций, основанных на совместном решении определённых задач. Соавторы образуют так называемые сети соавторства [12], формальными моделями которых являются графы. Такие сети имеют тенденцию к разбиению на сообщества (группы, модули, кластеры), имеющие больше связей внутри, чем вовне [16–19]. Мы предполагаем, что авторы, входящие в одно сообщество, занимаются исследованиями в некотором общем для них разделе математики (хотя бы и в достаточно широком понимании). Тогда построение таких сообществ и связей между ними будет отражать основные особенности и внутренние характеристики разделов и связи между этими разделами математики.

Цель работы – разработка подхода к определению основных направлений исследований в рамках одной научной дисциплины для выявления лидирующих и менее продвинутых направлений на основе данных о соавторстве учёных.

В работе решаются две основные задачи:

- 1) разработка и описание подхода к исследованию тематических сообществ соавторства учёных в рамках одной научной дисциплины,
- 2) апробация подхода на примере соавторства математиков по данным математического портала Math-Net.Ru.

С теоретической точки зрения исследование направлено на развитие методов анализа взаимодействия учёных различных направлений в рамках одной научной дисциплины. Апробация предлагаемого подхода для такой науки, как математика, показывает большой потенциал развития.

С практической точки зрения ряд полученных результатов может быть непосредственно использован для принятия управленческих решений, например с целью стимулирования работ по актуальным и/или перспективным исследованиям в математике.

1. Описание подхода к исследованию тематических сообществ соавторства учёных

Математической моделью, представляющей объект нашего исследования, является граф соавторства, вершины которого соответствуют учёным – авторам публикаций, а рёбра между вершинами отражают связи между соавторами. Эти связи определим так, как в работе [17]: «...два учёных считаются связанными, если они совместно написали статью», поскольку «...большинство людей, которые написали статью вместе, будут хорошо знать друг друга», но «...есть много учёных, которые знают друг друга до некоторой степени, но никогда не сотрудничали в написании статьи».

В соответствии с таким определением связь между учёными не зависит от количества написанных совместно статей: она есть, если есть хотя бы одна такая статья.

Графы соавторства являются одними из часто исследуемых конструкций научного сотрудничества, возможно, из-за изначальной очевидности определения «знакомства» учёных, что документируется самими статьями, которые пишут учёные. Будем исходить из того, что исследователи располагают данными о некотором множестве учёных и их публикационной активности за определённый промежуток времени, позволяющими построить граф соавторства. К примеру, таким источником информации может являться раздел «Авторы»³ Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, позволяющий в ручном режиме выбрать требуемые данные. Процедура построения графа соавторства хорошо формализуема, но существенно зависит от исходных данных. Например, в [13] она приводится для случая данных из базы экономических журналов REPEC. В нашем случае мы опишем её для случая математических журналов в разделе «Исходные данные и граф соавторства математиков».

³ Поиск авторов. URL: <https://elibrary.ru/authors.asp> (дата обращения: 29.03.2024).

Формально граф соавторства это $G = G(V, E)$, где V – множество вершин, соответствующих авторам, а E – множество рёбер, соединяющих пары авторов, написавших в соавторстве хотя бы одну статью. То есть $G(V, E)$ – неориентированный граф без петель и кратных рёбер.

Пусть k – это количество сообществ C_0, C_1, \dots, C_{k-1} , на которые разбивается граф соавторства $G = G(V, E)$, а V_0, V_1, \dots, V_{k-1} – подмножества вершин, составляющих сообщества. Любая пара подмножеств не пересекается, то есть $V_i \cap V_j$ ($i, j = 0, \dots, k-1; i \neq j$), а их объединение даёт множество $V: V_0 \cup V_1 \cup \dots \cup V_{k-1} = V$.

Для наглядности на рис. 1 изображён характерный пример неориентированного графа с тремя сообществами.

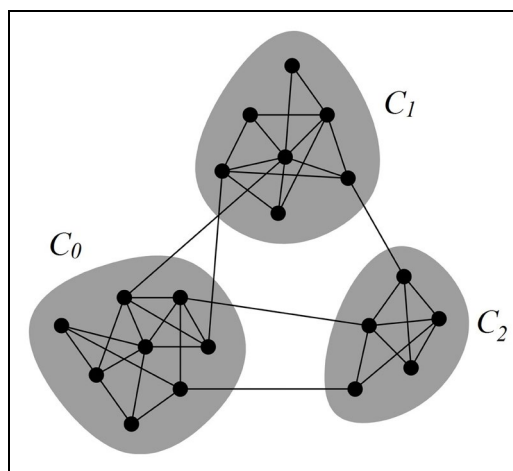


Рис. 1. Пример графа с тремя сообществами

Теоретически хорошо обоснованный подход к формализации этой проблемы для неориентированных графов называется кластеризацией на основе плотности связей. Для определения качества разбиения графа на сообщества используется понятие модулярности. Мера модулярности показывает, насколько данное разбиение качественно в том смысле, что существует много рёбер, лежащих внутри сообществ, и мало рёбер, лежащих вне сообществ, но соединяющих их между собой.

Одно из часто применяемых на практике формальных определений меры модулярности Q , которое мы будем использовать, дано в [20]. Значение Q при некотором заданном разбиении на сообщества

вычисляется как доля рёбер от общего числа рёбер, которые попадают в данные сообщества, минус ожидаемая доля рёбер, которые попали бы в те же сообщества, если бы они были распределены случайно. При таком определении значение $Q \in [-1, 1]$ и разбиение считается хорошим, если значение $Q > 0,7$.

Для разбиения на сообщества графа $G(V, E)$ использовалось свободное программное обеспечение для сетевого анализа Gephi⁴. В Gephi реализованы возможность варьирования количества сообществ и оценка качества полученного разбиения с использованием Q . Это позволяет провести серию экспериментов по нахождению наилучшего разбиения и/или разбиения с заданным количеством сообществ.

Одним из основных допущений, используемых далее, является допущение о том, что авторы, попадающие в одно сообщество, работают над некоторой единой тематикой, определяющей научное направление данного сообщества. Таким образом, встаёт задача определения тематики (научного направления, научной дисциплины) группы учёных по их совместным публикациям. Столь общая формулировка сама порождает задачу, требующую отдельной постановки и исследования. Методы её решения во многом зависят от масштаба исследования. Очевидно, что в каждом конкретном случае будут использоваться свои классификаторы научных направлений и методы для определения принадлежности учёных к тому или иному направлению. В случае математических сообществ в разделе 4 будет взята номенклатура научных специальностей, а тематика сообществ будет определяться по «тематическим зонам» авторитетных учёных, входящих в эти сообщества, по их данным, указанным в Math-Net.Ru (номенклатура специальностей, номенклатура журналов, в которых опубликованы статьи учёных).

В результате выполненных описанных шагов получаем разбиение графа $G(V, E)$ на сообщества C_0, C_1, \dots, C_{k-1} , где с каждым сообществом C_i связана тройка (V_i, E_i, t_i) , а именно, множество вершин, множество связывающих их рёбер и тематика сообщества.

Это позволяет провести анализ результатов с целью вычисления базовых характеристик тематических сообществ, таких как количество учёных, входящих в каждое сообщество, и связей между ними.

⁴ Gephi – The Open Graph Viz Platform. URL: <https://gephi.org> (дата обращения: 29.03.2024).

Не исключено также, что некоторые сообщества будут иметь одинаковую тематику, что позволит получить обобщённые данные типа суммарного количества учёных в каждом укрупнённом научном разделе.

Содержательная интерпретация полученных результатов и выводы существенно зависят от масштаба задачи и исследуемых научных дисциплин. Она выполнена нами применительно к проведённому анализу соавторства математиков.

2. Исходные данные и граф соавторства математиков

В информационной системе Math-Net.Ru данные накапливались в течение последних 15 лет. Наполнение информационной системы по годам было неоднородным, поэтому для исследования был выбран временной интервал датировки статей, опубликованных с 2000 по 2020 г.; из 140 журналов были взяты 56 ведущих российских журналов, полностью индексируемые в Math-Net.Ru. В этот список входят такие журналы, как «Алгебра и анализ», «Математические заметки», «Сибирский математический журнал» и др. Подробная информация об этих 56 журналах приводится в [21] (ссылка онлайн: <https://keldysh.ru/abrau/2022/theses/5.pdf>). Здесь же описаны процедуры построения графов соавторства и их характеристики и свойства. С 2000 по 2020 г. в этих журналах опубликовано почти 62 тыс. статей, авторами которых являются около 33 тыс. учёных.

Из базы данных Math-Net.Ru была сделана выборка всех авторов, имеющих публикации в соавторстве за указанный период в любом из 56 журналов. На основе этого сформировано множество вершин графа V . Метками вершин служат целочисленные коды персоналий в Math-Net.Ru, что исключает ряд ошибок, связанных с идентификацией авторов. Множество рёбер E формируется на основе выборки из всех возможных пар соавторов по правилу: для любой пары $i, j \in V$ ребро $(i, j) \in E$ существует тогда и только тогда, когда авторы i и j имеют хотя бы одну статью, в которой они входят в состав соавторов.

Таким образом была построена начальная версия графа соавторства $G(V, E)$, содержащая более 26 тыс. вершин и 36 тыс. рёбер. Около 7 тыс. авторов не имеют статей в соавторстве в указанных 56 журналах, поэтому соответствующие им изолированные вершины не вошли в V .

Особенность графа $G(V, E)$ заключается том, что он распадается более чем на 4 тыс. компоненты связности. Максимальная из них содержит 11 860 вершин и 20 858 рёбер (следующая по размерам компонента содержит всего 100 вершин, а самая маленькая – 3).

Далее был взят подграф, равный максимальной компоненте связности. Несколькими последовательными итерациями из него были удалены вершины с инцидентностью 1. Удаление таких вершин не влияет на связность графа, но существенно облегчает работу по содержательному анализу сообществ.

В итоге был построен граф соавторства, обозначаемый $G_{co-auth}$, состоящий из одной компоненты связности, содержащий 8166 вершин и 17 164 рёбер, и являющийся объектом дальнейших исследований. Диаметр графа (количество рёбер, соединяющих две самые удалённые вершины) $d = 26$, а средняя длина пути в графе (average path length) $apl = 9,7$.

3. Построение и исследование тематических сообществ

Для разбиения графа $G_{co-auth}$ на сообщества был использован пакет Gephi. Максимальное значение меры модулярности Q , равное 0.933, достигается при разбиении графа на 74 сообщества. В табл. 1 приводится полный перечень построенных сообществ и их основные характеристики.

Таблица 1

Тематические сообщества графа соавторства

t_i	i	$ V_i $	$ E_i $	Leader	Status	Location
01.01.01	19	143	258	Семёнов Е. М.	д-р физ.-мат. наук	Воронеж
01.01.01	20	141	239	Кусраев А. Г.	д-р физ.-мат. наук	Владикавказ
01.01.01	66	138	294	Аптекарев А. И.	чл.-корр. РАН РАН	Москва
01.01.01	4	112	192	Конягин С. В.	акад. РАН	Москва
01.01.01	39	101	171	Тихомиров В. М.	д-р физ.-мат. наук	Москва
01.01.01	58	38	64	Смолянов О. Г.	д-р физ.-мат. наук	Москва
01.01.01	64	19	31	Богачев В. И.	чл.-корр. РАН	Москва
01.01.02	70	201	389	Садовничий В. А.	акад. РАН	Москва
01.01.02	1	153	252	Тарханов Н. Н.	д-р физ.-мат. наук	Красноярск
01.01.02	32	135	273	Гонченко С. В.	д-р физ.-мат. наук	Нижний Новгород
01.01.02	15	117	225	Ушаков В. Н.	чл.-корр. РАН	Екатеринбург

t_i	i	$ V_i $	$ E_i $	Leader	Status	Location
01.01.02	28	45	94	Починка О. В.	д-р физ.-мат. наук	Москва
01.01.02	28	45	94	Починка О. В.	д-р физ.-мат. наук	Москва
01.01.02	65	42	79	Тонков Е. Л.	д-р физ.-мат. наук	Ижевск
01.01.02	57	35	60	Vroeg Henk W.	PhD	Нидерланды
01.01.02	42	18	28	Коняев Ю. А.	канд. физ.-мат. наук	Москва
01.01.03	16	236	465	Шабат А. Б.	д-р физ.-мат. наук	Московская область
01.01.03	52	205	449	Орлов Ю. Н.	д-р физ.-мат. наук	Москва
01.01.03	13	86	145	Славянов С. Ю.	д-р физ.-мат. наук	Санкт-Петербург
01.01.03	48	80	152	Кудряшов Н. А.	д-р физ.-мат. наук	Москва
01.01.03	6	78	160	Доброхотов С. Ю.	д-р физ.-мат. наук	Москва
01.01.03	22	77	165	Кулиш П. П.	д-р физ.-мат. наук	Санкт-Петербург
01.01.03	11	55	100	Арефьева И. Я.	чл.-корр. РАН	Москва
01.01.03	49	48	84	Тютин И. В.	д-р физ.-мат. наук	Москва
01.01.03	10	42	88	Костомаров Д. П.	акад. РАН	Москва
01.01.04	68	203	369	Бухштабер В. М.	д-р физ.-мат. наук	Москва
01.01.04	5	128	272	Голубятников В. П.	д-р физ.-мат. наук	Новосибирск
01.01.04	9	109	194	Реповш Д. Д.	PhD	Словения
01.01.04	25	38	80	Микеш Й.	д-р физ.-мат. наук	Чехия
01.01.05	17	223	401	Ширяев А. Н.	акад. РАН	Москва
01.01.05	30	135	221	Ватутин В. А.	д-р физ.-мат. наук	Москва
01.01.06	29	264	565	Чубариков В. Н.	д-р физ.-мат. наук	Москва
01.01.06	43	229	496	Мазуров В. Д.	чл.-корр. РАН	Новосибирск
01.01.06	23	121	233	Кириченко В. В.	д-р физ.-мат. наук	Киев
01.01.06	33	116	192	Востоков С. В.	д-р физ.-мат. наук	Санкт-Петербург
01.01.06	54	96	210	Гончаров С. С.	акад. РАН	Новосибирск
01.01.06	2	74	126	Гутерман А. Э.	д-р физ.-мат. наук	Москва
01.01.06	21	55	92	Абызов А. Н.	канд. физ.-мат.	Казань

Продолжение таблицы 1

t_i	i	$ V_i $	$ E_i $	Leader	Status	Location
01.01.07	26	187	369	Евтушенко Ю. Г.	акад. РАН	Москва
01.01.07	31	179	337	Васин В. В.	чл.-корр. РАН	Екатеринбург
01.01.07	40	162	339	Вабищевич П. Н.	д-р физ.-мат.	Москва
01.01.07	50	103	179	Ильин В. П.	д-р физ.-мат.	Новосибирск
01.01.07	67	102	171	Малоземов В. Н.	д-р физ.-мат. наук	Санкт-Петербург
01.01.07	55	76	165	Белоцерковский О.	акад. РАН	Москва
01.01.07	27	68	115	Зоркальцев В. И.	д-р техн. наук	Иркутск
01.01.07	63	68	129	Остапенко В. В.	д-р физ.-мат.	Новосибирск
01.01.07	72	65	127	Шайдуров В. В.	чл.-корр. РАН	Красноярск
01.01.07	45	26	56	Холодов А. С.	акад. РАН	Москва
01.01.09	53	151	280	Буре В. М.	д-р техн. наук	Санкт-Петербург
01.01.09	69	131	252	Гимади Э. Х.	д-р физ.-мат.	Новосибирск
01.01.09	7	62	121	Бородин О. В.	д-р физ.-мат.	Новосибирск
01.02.01	3	234	517	Борисов А. В.	д-р физ.-мат.	Москва
01.02.01	24	89	225	Овчинников М. Ю.	д-р физ.-мат.	Москва
01.02.04	41	130	281	Радченко В. П.	д-р физ.-мат.	Самара
01.02.04	18	95	207	Паймушин В. Н.	д-р физ.-мат.	Казань
01.02.04	0	115	183	Назаров С. А.	д-р физ.-мат. наук	Санкт-Петербург
01.02.05	35	139	284	Ковалёв В. Л.	д-р физ.-мат.	Москва
01.02.05	47	66	119	Костерин А. В.	д-р физ.-мат.	Казань
01.02.05	73	25	68	Козелков А. С.	д-р физ.-мат.	Саров
01.03.01	37	135	353	Сазонов В. В.	д-р физ.-мат. наук	Московская область
01.04.02	12	183	339	Павлов М. В.	канд. физ.-мат.	Москва
01.04.02	71	91	150	Герджиков В. С.	д-р физ.-мат.	Болгария
01.04.02	14	50	93	Манько В. И.	д-р физ.-мат. наук	Московская область
01.04.17	56	36	80	Смирнов Н. Н.	д-р физ.-мат.	Москва
05.02.05	36	47	97	Павловский В. Е.	д-р физ.-мат.	Москва

t_i	i	$ V_i $	$ E_i $	Leader	Status	Location
05.13.10	51	124	264	Мандель А. С.	д-р техн. наук	Москва
05.13.10	38	96	187	Новиков Д. А.	акад. РАН	Москва
05.13.16	34	160	371	Галанин М. П.	д-р физ.-мат.	Москва
05.13.16	59	72	160	Петров И. Б.	чл.-корр. РАН	Московская область
05.13.18	61	305	761	Четверушкин Б. Н.	акад. РАН	Москва
05.13.18	62	151	300	Козубская Т. К.	д-р физ.-мат.	Москва
05.13.18	60	128	324	Галактионов В. А.	д-р физ.-мат.	Москва
05.13.18	8	90	183	Гасников А. В.	д-р физ.-мат. наук	Московская область
05.13.18	46	68	195	Марков М. Б.	чл.-корр. РАН	Москва
05.13.19	44	21	50	Смышляев С. В.	д-р физ.-мат.	Москва

Обозначения колонок:

t_i – тип сообщества (шифр специальности ВАК);

i – номер сообщества в разбиении (автоматически присваивается Gephi);

$|V_i|$ – количество вершин в сообществе C_i ;

$|E_i|$ – количество ребер между вершинами сообщества C_i ;

Leader – учёный, имеющий в i -м сообществе наибольшее число соавторов (термин «лидер» не совсем удачный, поэтому далее будем использовать его в кавычках);

Status – академический статус или научная степень «лидера»;

Location – местонахождение основной организации, указанной в информации о «лидере» в базе Math-Net.Ru.

Сами организации, с которыми аффилированы «лидеры», также известны. У многих учёных в базе Math-Net.Ru приводится несколько аффилированных организаций, и выбор основной из них является отдельной задачей. Некоторая суммарная информация об аффилированных организациях будет приведена далее.

Строки таблицы упорядочены по возрастанию шифра специальности, строки с одинаковым шифром упорядочены по убыванию количества вершин, входящих в сообщества. Сообщества одинакового типа для наглядности выделены в единый блок.

Для определения типа каждого из 74 сообществ использовался следующий подход. Из множества авторов, составляющих сообщество, отбирались первые три автора, имеющие наибольшее количество соавторов в данном сообществе, а затем по информации Math-Net.Ru экспертным путём определялся тип сообщества, соответствующий номенклатуре специальностей ВАК⁵ этих авторов. Дело в том, что номенклатура специальностей не является обязательным атрибутом в базе данных, поэтому приходилось исследовать дополнительную информацию, например, номенклатуру журналов, в которых есть публикации данных авторов (использование старой номенклатуры объясняется тем, что у многих авторов в Math-Net.Ru информация не обновлялась после 2021 г.).

Например, для сообщества C_{38} (в табл. 1 это строка, выделенная заливкой) это академик Д. А. Новиков⁶ (19 соавторов, специальность ВАК 05.13.10), доктор технических наук В. Н. Бурков⁷ (16 соавторов, специальность докторской диссертации 1975 г. 05.00.00) и доктор технических наук В. А. Иващенко (14 соавторов). По информации, имеющейся на страницах этих учёных в Math-Net.Ru, тип сообщества обозначен как «управление в социальных и экономических системах», что соответствует шифру 05.13.10.

Изображение графа $G_{co-auth}$, содержащего более 8 тыс. вершин с разбиением на 74 сообщества, в журнальном варианте теряет свою наглядность. Поэтому на рис. 2 приводится его фрагмент, состоящий из двух сообществ, выделенных разными оттенками тёмного цвета. Надписи в верхней части рисунка обозначают тип сообществ C_{44} и C_{29} , а вершины, соответствующие «лидерам», изображены более крупно и отмечены фамилиями этих учёных.

⁵ Приказ Министерства науки и высшего образования РФ от 23 октября 2017 г. № 1027 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются учёные степени». URL: <https://docs.cntd.ru/document/542610966> (дата обращения: 30.03.2024).

⁶ Новиков Дмитрий Александрович.
URL: https://www.mathnet.ru/php/person.phtml?option_lang=rus&personid=33032 (дата обращения: 30.03.2024).

⁷ Бурков Владимир Николаевич. URL:
https://www.mathnet.ru/php/person.phtml?option_lang=rus&personid=51029 (дата обращения: 30.03.2024).

В табл. 2 в первых двух колонках приводятся наименования специальностей для шифров, использованных в табл. 1.

Обозначения остальных колонок:

КС – суммарное количество сообществ с данным типом (шифром);

КУ – суммарное количество учёных в сообществах с данным типом;

СрКУ – среднее количество учёных в сообществе данного типа.

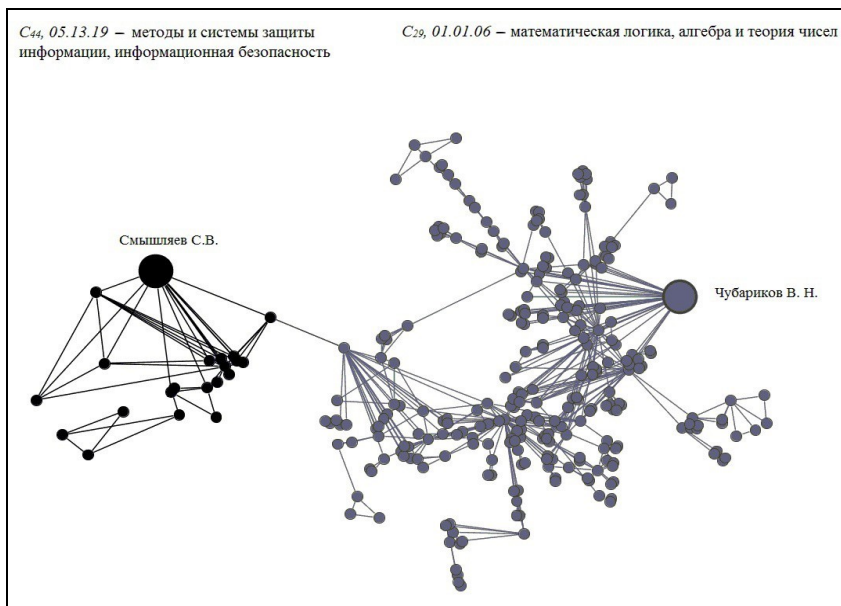


Рис. 2. Фрагмент графа $G_{co-auth}$

Таблица 2

Научные специальности сообществ и их сводные характеристики

Шифр	Научная специальность	КС	КУ	СрКУ
01.01.01	Вещественный, комплексный и функциональный анализ	7	692	98,9
01.01.02	Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление	8	746	93,3
01.01.03	Математическая физика	9	907	100,8
01.01.04	Геометрия и топология	4	478	119,5

Шифр	Научная специальность	КС	КУ	СрКУ
01.01.05	Теория вероятностей и математическая статистика	2	358	179,0
01.01.06	Математическая логика, алгебра и теория чисел	7	955	136,4
01.01.07	Вычислительная математика	10	1036	103,6
01.01.09	Дискретная математика и математическая кибернетика	3	344	114,7
01.02.01	Теоретическая механика	2	323	161,5
01.02.04	Механика деформируемого твёрдого тела	3	340	113,3
01.02.05	Механика жидкости, газа и плазмы	3	230	76,7
01.03.01	Астрометрия и небесная механика	1	135	135,0
01.04.02	Теоретическая физика	3	324	108,0
01.04.17	Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества	1	36	36,0
05.02.05	Роботы, мехатроника и робототехнические системы	1	47	47,0
05.13.10	Управление в социальных и экономических системах	2	220	110,0
05.13.16	Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях	2	232	116,0
05.13.18	Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ	5	742	148,4
05.13.19	Методы и системы защиты информации, информационная безопасность	1	21	21,0

4. Анализ сообществ

Гистограммы распределений по городам, организациям и статусу «лидеров», построенные по данным табл. 1, приведены на рис. 3. На рисунке не показаны ещё пять городов (из пяти зарубежных стран) и более 30 вузов и институтов, аффилированных по одному разу.

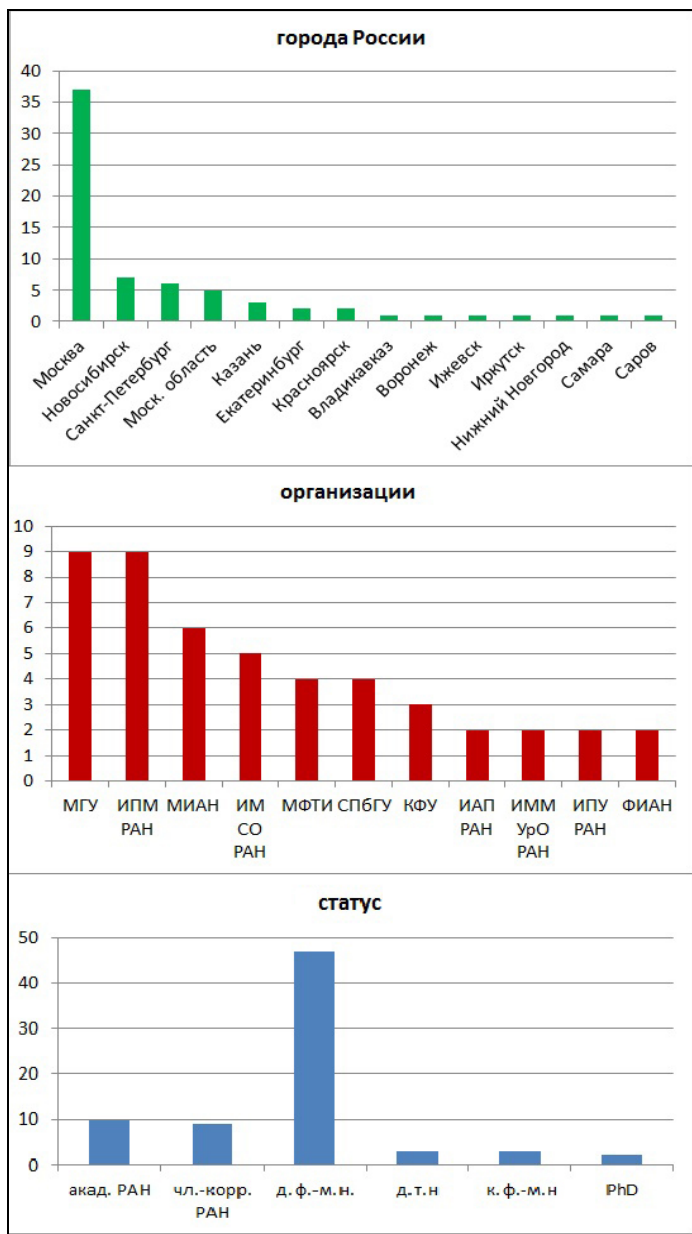


Рис. 3. Города, организации и статус «лидеров»

Полученные результаты соответствуют общепринятым представлениям о географии науки в России⁸ и косвенно подтверждают адекватность нашей модели.

Количество вершин и рёбер в сообществах изменяются в значительных пределах. При этом средняя инцидентность вершин в сообществах, соответствующая среднему количеству соавторов, колеблется от 3,1 до 5,7. В значительных пределах изменяются и характеристики, не указанные в таблице. Например, диаметр d_i изменяется от 5 до 16, а средняя длина пути apl_i от 2,4 до 6,2.

Скрупулёзный анализ сообществ даёт достаточно интересные результаты. К примеру, сообщество C_{42} (01.01.02 – дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление), «лидером» которого является кандидат наук, включает 18 учёных, из которых 12 работают в Московском энергетическом институте (включая «лидера»), 2 – в Российском университете дружбы народов, 3 – в вузах Узбекистана и 1 – в вузе Таджикистана. Публикации участников сообщества позволяют уточнить достаточно узкое направление его исследований как «теория регулярных и сингулярных возмущений».

Сообщество C_{57} (такого же типа как C_{42}) с «лидером» PhD Broer Henk из Нидерландов включает 35 участников из зарубежных стран (Бразилия, Великобритания, Италия, Канада и др.), специализируется в области хаотической динамики. Все совместные статьи членов сообщества опубликованы в англоязычном журнале Regular and Chaotic Dynamics⁹, издаваемом в Ижевске.

5. Анализ основных направлений исследований

Группировка в табл. 2, сделанная для 74 сообществ по 19 научным специальностям, даёт возможность выделить шесть научных направлений, по которым работа ведётся как наибольшим количеством сообществ, так и максимальным суммарным количеством их участников:

- вычислительная математика;
- математическая физика;

⁸ География. URL: <https://geographyofrussia.com/karty-nauka-v-rossii> (дата обращения: 31.03.2024).

⁹ Regular and Chaotic Dynamics. URL: <http://rcd.ics.org.ru> (accessed: 31.03.2024).

дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление;
математическая логика, алгебра и теория чисел;
вещественный, комплексный и функциональный анализ;
математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Группировка в табл. 2, сделанная для 74 сообществ по 19 научным специальностям, даёт возможность выделить шесть научных направлений, по которым работа ведётся как наибольшим количеством сообществ, так и максимальным суммарным количеством их участников:

вычислительная математика;

математическая физика;

дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление;

математическая логика, алгебра и теория чисел;

вещественный, комплексный и функциональный анализ;

математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Заключение

В статье предложена методология исследования тематических сообществ, основанная на графе соавторства учёных, работающих в рамках одной научной дисциплины. Разбиение графа на тематические сообщества позволяет получить базовые характеристики сообществ, такие как тип (тематическое направление исследований), количество учёных, входящих в каждое сообщество, и связей между ними.

Более детальное исследование построенного разбиения позволяет:
выявить перечень основных направлений научных исследований в рамках научной дисциплины;

изучить сообщества, имеющие очевидные отклонения от усреднённых характеристик, и дать содержательные объяснения таким отклонениям;

построить перечень укрупнённых научных направлений, включающих сообщества одного типа, и получить обобщённые данные типа суммарного количества сообществ и учёных в каждом укрупнённом направлении.

Изложены результаты апробации предложенной методологии по данным математического портала Math-Net.Ru.

К основным результатам относится перечень из шести научных направлений математики, наиболее активно развивавшихся в России в период с 2000 по 2020 г., и трёх наименее продвинутых направлений по количеству сообществ и их участников.

С практической точки зрения полученные результаты могут быть использованы при принятии управленческих решений, стимулирующих работы по таким выявленным направлениям, как роботы и робототехнические системы, горение и взрыв, методы и системы защиты информации, которые сегодня имеют безусловную актуальность и практическую ценность. В частности, можно предложить руководству Российского научного фонда (<https://www.rscf.ru>) объявить целевые конкурсы по данным направлениям (например, в рамках конкурса проектов молодых исследователей).

Результаты апробации предлагаемого подхода показывают потенциал его прямого переноса на другие научные дисциплины. Основным условием такого переноса является наличие полной и достоверной базовой библиографической информации о соавторстве учёных в предполагаемой к исследованию научной дисциплине за достаточно большой временной отрезок.

Список источников

1. **Yang S. L., Yuan Q. L., Dong J. H.** Are Scientometrics, Informetrics, and Bibliometrics Different? // *Data Science and Informetrics*. 2020. № 1. P. 50–72.
2. **Kalachikhin P.** Combined Methods for Forecasting Scientific Achievements // *Scientific and Technical Information Processing*. 2021. Vol. 48, № 4. P. 231–238.
3. **Hazra R. et al.** Modeling interdisciplinary interactions among physics, mathematics and computer science // *Journal of Physics: Complexity*. 2023. Vol. 4, № 4. P. 045001.
4. **Leydesdorff L., Rafols I.** A global map of science based on the ISI subject categories // *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 2009. Vol. 60, № 2. P. 348–362.
5. **Мильман Б., Журкович И.** Аналитика и биоаналитика на картах науки // *Аналитика*. 2013. № 2. С. 34–41.
6. **Milman B. L., Gavrilova Y. A.** Analysis of citation and co-citation in chemical engineering // *Scientometrics*. 1993. Vol. 27. P. 53–74.

7. **Гарскова И. М.** Сетевой анализ историографии: динамика формирования региональных центров исторической информатики // Историческая информатика. 2017. № 3. С. 94–115.
8. **Author**, 2023.
9. **Басараб М. А. и др.** Исследование структуры графа научного соавторства методами анализа социальных сетей // Вопросы кибербезопасности. 2017. № 1 (19). С. 31–36.
10. **Васильева Е. Е. и др.** Влияние коллабораций на характеристики графа соавторства в области физики в России // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2020. № 12. С. 47–54.
11. **Иванов О. В. и др.** Топология графа соавторства в области физики в России // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2020. № 8. С. 9–16.
12. **Бредихин С. В., Ляпунов В. М., Щербакова Н. Г.** Структура и параметры невзвешенной сети соавторства на основе данных БД РЕПЕС // Проблемы информатики. 2021. Т. 3. № 52. С. 56–67.
13. **Бредихин С. В., Ляпунов В. М., Щербакова Н. Г.** Ранжирование узлов взвешенной сети соавторства: анализ данных БД РЕПЕС // Проблемы информатики. 2021. Т. 4, № 53. С. 67–83.
14. **Jahal J., Loukas M., Oskouian R. J., Tubbs R. S.** "Political co-authorships" in medical science journals // Clinical Anatomy. 2017. Vol. 30, № 6. P. 831–834.
15. **Seltzer A. J., Daniel S. H.** Co-authorship in economic history and economics: Are we any different? // Explorations in Economic History. 2018. № 69. P. 102–109.
16. **Прочко А. Л., Тищенко В. И.** Особенности коллабораций учёных в коллективах различных тематик // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 2019–2020. 2020. С. 249–273.
17. **Newman M. E. J.** The structure of scientific collaboration networks // Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 2001. Vol. 98, № 2. P. 404–409.
18. **Bedi P., Sharma C.** Community detection in social networks // Wiley interdisciplinary reviews: Data mining and knowledge discovery. 2016. Vol. 6, № 3. P. 115–135.
19. **Serban M.** Exploring modularity in biological networks // Philosophical Transactions of the Royal Society B. 2020. Vol. 375. P. 20190316.
20. **Newman M. E., Girvan M.** Finding and evaluating community structure in networks // Physical Review E. 2004. Vol. 69, № 2. P. 026113.
21. **Автор**, 2022.

References

1. **Yang S. L., Yuan Q. L., Dong J. H.** Are Scientometrics, Informetrics, and Bibliometrics Different? // Data Science and Informetrics. 2020. № 1. P. 50–72.
2. **Kalachikhin P.** Combined Methods for Forecasting Scientific Achievements // Scientific and Technical Information Processing. 2021. Vol. 48, № 4. P. 231–238.

3. **Hazra R. et al.** Modeling interdisciplinary interactions among physics, mathematics and computer science // *Journal of Physics: Complexity*. 2023. Vol. 4, № 4. P. 045001.
4. **Leydesdorff L., Rafols I.** A global map of science based on the ISI subject categories // *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 2009. Vol. 60, № 2. P. 348–362.
5. **Mil'man B., Zhurkovich I.** Analitika i bioanalitika na kartakh nauki // *Analitika*. 2013. № 2. S. 34–41.6.
6. **Milman B. L., Gavrilova Y. A.** Analysis of citation and co-citation in chemical engineering // *Scientometrics*. 1993. Vol. 27. P. 53–74.
7. **Garskova I. M.** Setevoi` analiz istoriografii: dinamika formirovaniia regional'ny`kh centrov istoricheskoi` informatiki // *Istoricheskaiia informatika*. 2017. № 3. S. 94–115.
8. **Author**, 2023.
9. **Basarab M. A.** i dr. Issledovanie struktury` grafa nauchnogo soavtorstva metodami analiza sotcial'ny`kh setei` // *Voprosy` kiberbezopasnosti*. 2017. № 1 (19). S. 31–36.
10. **Vasil`eva E. E. i dr.** Vliianie kollaboratsii` na harakteristiki grafa soavtorstva v oblasti fiziki v Rossii // *Kratkie soobshcheniia po fizike FIAN*. 2020. № 12. S. 47–54.
11. **Ivanov O. V. i dr.** Topologiiia grafa soavtorstva v oblasti fiziki v Rossii // *Kratkie soobshcheniia po fizike FIAN*. 2020. № 8. S. 9–16.
12. **Bredihin S. V., Liapunov V. M., Shcherbakova N. G.** Struktura i parametry` nevvzveshenoi` seti soavtorstva na osnove danny`kh BD REPEC // *Problemy` informatiki*. 2021. T. 3. № 52. S. 56–67.
13. **Bredihin S. V., Liapunov V. M., Shcherbakova N. G.** Ranzhirovanie uzlov vzweshenoi` seti soavtorstva: analiz danny`kh BD REPEC // *Problemy` informatiki*. 2021. T. 4, № 53. S. 67–83.
14. **Johal J., Loukas M., Oskouian R. J., Tubbs R. S.** “Political co-authorships” in medical science journals // *Clinical Anatomy*. 2017. Vol. 30, № 6. P. 831–834.
15. **Seltzer A. J., Daniel S. H.** Co-authorship in economic history and economics: Are we any different? // *Explorations in Economic History*. 2018. № 69. P. 102–109.
16. **Prochko A. L., Tishchenko V. I.** Osobennosti kollaboratsii` uchyony`kh v kollektivakh razlichny`kh tematik // *Sistemny`e issledovaniia. Metodologicheskie problemy`*. Ezhegodnik 2019–2020. 2020. S. 249–273.
17. **Newman M. E. J.** The structure of scientific collaboration networks // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 2001. Vol. 98, № 2. P. 404–409.
18. **Bedi P., Sharma C.** Community detection in social networks // *Wiley interdisciplinary reviews: Data mining and knowledge discovery*. 2016. Vol. 6, № 3. P. 115–135.
19. **Serban M.** Exploring modularity in biological networks // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2020. Vol. 375. P. 20190316.
20. **Newman M. E., Girvan M.** Finding and evaluating community structure in networks // *Physical Review E*. 2004. Vol. 69, № 2. P. 026113.
21. **Avtor**, 2022.

Информация об авторе / Author

Печников Андрей Анатольевич – доктор техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории математической кибернетики Института прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Российская Федерация
pechnikov@krc.karelia.ru

Andrey A. Pechnikov – Dr. Sc. (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher, Mathematical Cybernetics Laboratory, Institute for Applied Mathematical Studies, Karelian Research Center, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russian Federation
pechnikov@krc.karelia.ru