

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ВИНИТИ РАН)

НАУЧНО • ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Серия 1. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА
ИНФОРМАЦИОННОЙ РАБОТЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Издается с 1961 г.

№ 10

Москва 2021

ОБЩИЙ РАЗДЕЛ

УДК 001.89:001.18

П.А. Калачихин

Сочетание методов прогнозирования научных достижений^{**}

Рассматривается возможность сочетания пробельного анализа знаний, картирования и экстраполяции для прогнозирования новых научных направлений. Показано, что эффективное применение этих методов ограничено стадиями жизненного цикла направлений. Предложена формальная методика поиска пробелов в знаниях на основании подсчета метрик результатов запросов к цифровым платформам. Сформулированы параметры формирования карт для обнаружения зарождающихся направлений фундаментальной науки. Обсуждены модели устойчивого развития для науки в целом и экспоненциального роста для отдельных направлений.

Ключевые слова: жизненный цикл, зарождающиеся направления, карты науки, пробельный анализ

DOI: 10.36535/0548-0019-2021-10-1

* Работа выполнена в рамках исследования по теме 0003-2019-0001 Госзадания ВИНТИ РАН и при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ № 20-07-00014).

ВВЕДЕНИЕ

Согласно известному афоризму инженера Ч. Кеттеринга (С. Kettering), «сформулировать проблему – значит наполовину решить ее». Однако, прежде чем прийти к постановке задачи нужно понять, в какой области искать научную проблему. Как правило, для зрелых ученых этот вопрос стоит не столь остро, поскольку они имеют научную специализацию и аффилированы к профильным организациям. Однако для молодых исследователей, которые еще не определились со своей специализацией и будущей карьерой, поиск актуальной темы для исследования является мучительной проблемой, которую едва ли они способны решить без помощи более опытного руководителя, наставника или ментора.

Даже если обнаружится зарождающееся новое научное направление с достаточной актуальностью, мы не можем точно сказать, какова будет его судьба, удастся ли ему пробиться, увидеть свет, получить признание. Элемент прогноза заключается в том, чтобы оценить такую вероятность. Прогноз определяет уверенность, с которой мы считаем, что в данной области может возникнуть некоторое новое научное направление в течение какого-либо срока, который выступает горизонтом прогнозирования. Так, если требуется срочно получить вакцину для лечения инфекционного заболевания, то можно ожидать появления новых направлений в фармакологии и фармацевтике, хотя сложно угадать, насколько такая вакцина будет эффективна. Подобные прогнозы можно строить на основании разных методов, и поэтому очень важна взаимная стыковка различных методов прогнозирования новых научных направлений.

Известно, что существуют количественные и качественные методы прогнозирования. Мы будем использовать такие количественные методы, на основании которых можно было бы делать общие выводы. Также мы хотели бы опираться на дифференцированный по разделам знания подход к управлению научными достижениями, т.е. использовать схему, которая предлагает применение различных наборов показателей, исходя из специфики решаемых задач.

На входе такой схемы мы имеем:

- горизонт прогнозирования / уровень оценки;
- раздел знания;
- метод прогнозирования / методику оценки;
- набор показателей;
- источник данных.

На выходе должно быть заключение о том, будет или не будет прорыв в той или иной области знания, и если он должен случиться, то как скоро его следует ожидать. При этом прогнозирование будем рассматривать с точки зрения стороннего наблюдателя, который ограничен в знаниях и в ресурсах, тем самым допуская, что новое научное направление может быть открыто повторно. Эволюция научных направлений будет рассматриваться далее.

ПОИСК НОВЫХ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Важно отличать эволюцию науки в целом от эволюции отдельных научных направлений, имея возможность для их сопоставления. По интенсивности исследовательской активности научное направление ограничено жизненным циклом [1]. Наука же, как совокупность научных направлений, омолаживается, когда вышедшие из употребления научные направления заменяются новыми, только зарождающимися.

Развитие научных направлений будем называть *нормальным*, если *научный потенциал со временем планомерно и целенаправленно воплощается в научные достижения*. В таком случае достаточно указать направление с высоким научным потенциалом, и уже можно ждать прорыва именно там. Нормальное развитие не относится к девиантной науке и зарождающейся науке, которые развиваются по иным сценариям.

В таком случае, с точки зрения динамики публикационной активности, можно выделить следующие ступени нормального развития:

- состояние неопределенности, когда прогресс может начаться в любой момент времени;
- начало роста, когда новое направление зарождается;
- рост, когда направление стремительно развивается;
- старение, когда развитие научного направления замедляется.

Имея информацию о динамике роста научного направления, прогноз его развития можно получать с помощью экстраполяции графика публикационной активности. Однако экстраполяция позволяет предсказывать развитие только там, где есть изменения. Если научное направление совсем новое, то построение графика публикационной активности проблематично, хотя имеется надежда на скорый рост. В данном случае можно лишь зафиксировать небольшие успехи на старте. Тем более, с помощью графика не получится обнаружить нулевые результаты, так как нужные данные отсутствуют. Таким образом, экстраполяция подходит только для прогнозирования нормально развивающихся направлений, находящихся на стадии роста. Для остальных случаев согласно табл. 1 необходимо применять другие методы.

В самом начале эволюции знаниям предшествуют художественные произведения, креативные идеи и гипотезы, но формально жизненный цикл научного направления стартует лишь тогда, когда становится ясно, что имеющегося задела не хватает. Анализ подобных узких мест позволяет обнаруживать самые перспективные и актуальные направления. Однако такие исследования связаны с наибольшими рисками, поскольку открытые вопросы и нерешенные проблемы могут существовать достаточно долго, и очень сложно поймать именно тот момент времени, когда будут получены первые результаты.

Сопоставление методологий прогнозирования новых научных направлений на разных стадиях их жизненного цикла нормального развития

Этап	Тип задачи	Задача	Динамика
Нулевой	Оценка результативности	Поиск пробелов	Отсутствие динамики
Начало роста	Качественное среднесрочное прогнозирование достижений	Поиск зарождающихся направлений	Появление первых публикаций
Рост	Количественное среднесрочное прогнозирование достижений	Экстраполяция развития направлений	Экспоненциальный рост количества публикаций

Зачатки новых научных направлений заполняют пустоты в знаниях. Зарождающиеся направления чуть менее актуальны, чем вопросы без ответа, так как здесь уже имеется некоторый задел, и потому часть научного потенциала израсходована. Методы поиска таких очагов зарождения новых направлений более достоверны, поскольку основаны на анализе реальных данных. В целом методология поиска зарождающихся направлений более проработана, и ключевая роль в ней отводится понятию *исследовательского фронта*, т. е. группе высокоцитируемых публикаций, объединенных общей тематикой.

Наконец, для развивающихся длительное время направлений характерны стабилизация и спад актуальности, поскольку научное сообщество уже успело по ним осведомиться. Тем не менее, существуют достаточно точные и глубоко проработанные количественные методы, такие как *экстраполяция*, позволяющие определить ожидаемое оставшееся время и темпы их роста.

Для полноты картины следовало бы отметить, что за фазой роста, которая характеризуется линейной динамикой, следует фаза старения научного направления – с затуханием вплоть до полного отсутствия роста публикационной активности. Старение научной литературы измеряется показателями «периода полужизни», рассчитываемого для журналов и тематических направлений [2]. За старением научного направления следует угасание, когда его развитие полностью прекращается. «Мертвые» науки подобны языкам, на которых никто уже не разговаривает, и представляют, пожалуй, только исторический интерес.

Далее будут рассмотрены случаи прогнозирования научных направлений, находящихся на ранних этапах жизненного цикла.

ПЕРЕОСМЫСЛЕНИЕ ПРОБЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ЗНАНИЙ

В прошлом пробелы в знаниях ликвидировались с помощью мистических культов. Попытки доказать сверхъестественное и до сих пор основаны на пробелах в научных знаниях. Но так ли много пробелов осталось в современной науке? Вообще, есть полярные точки зрения: либо почти все уже открыто и изучено, либо нам очень мало известно о природе. Почему это так важно? Если правда в том, что все в природе вдоль и поперек изучено, то это значит, что в будущем вряд ли можно надеяться на новые открытия и достижения. Если же мы по-прежнему ничтожно мало знаем о природе, то в будущем нас опреде-

ленно ждут интересные научные открытия. Однако история учит нас тому, что, принимая ту или иную крайнюю сторону, можно впасть в заблуждение. Поиск пробелов в науке мог бы показаться вовсе бессмысленным, поскольку в ретроспективе нетрудно видеть, что таковые присутствуют в любой области знания, поэтому условимся, что мы ищем пробел по состоянию на некоторый определенный момент времени.

Можно предположить существование двух подходов к пробелам в науке. Согласно когнитивному подходу, пробелы в знаниях – это всегда пробелы в головах их носителей (*knowledge gap*) [3]. Но пробелы в науке – это не то же самое, что пробелы в знаниях у обучающихся, методы выявления которых разрабатываются педагогическими науками. С точки зрения объективистского подхода, пробелы в знаниях существуют независимо от того, знаем ли мы об их существовании или нет. Подлинный пробел в знаниях не является чем-то субъективным, но следует различать пробелы в знаниях и пробелы в информации – так называемый «информационный вакуум» (*information vacuum*), который искусственно создается организациями, преследующими частные интересы [4]. Построение единого научного информационного пространства позволило бы избавиться от информационных пробелов и достичь понимания, где скрываются подлинные пробелы в знаниях.

Группа сотрудников под руководством Э.С. Бернштейна (E.S. Bernstein) в свое время разрабатывала методику порождения новых изобретений по ассоциациям с уже известными. В 70-е гг. прошлого века это было достаточно модным направлением [5, с. 16]. Согласно Э.С. Бернштейну, пробел – это специфическая форма представления информации, при которой становится ясным, отсутствие какого конкретно знания мешает получению требуемого эффекта, например, отсутствие литейной формы с подходящими свойствами для бездефектных отливок в металлургии [6, с. 2]. В нашем, более современном, понимании пробел – это отсутствие решения какой-либо проблемы или подтверждения какой-либо гипотезы [7]. Если известно, каких знаний и где не хватает – это пробел.

Метод выявления пробелов Э.С. Бернштейна должен обеспечить:

- определение цели;
- определение объема наличного знания;
- формирование эталонного представления достижимого результата [8, с. 1].

Эталонное представление информации – это перечень того, что следовало бы знать об объекте исследования, если это реально узнать и необходимо для получения требуемого эффекта [6, с. 2]. Результат пробельного анализа – это представление сведений о последних достижениях в пробельной форме, а также выявление противоречий научно-технического прогресса [6, с. 2].

Пробельный анализ в первоначальном виде рассматривает научные достижения как вызовы и задачи, а не как объекты оценки. Потребности в новых технологиях должны покрываться возможностями по генерации новых знаний, исходя из того, что пробелы существуют в областях знания, а нереализованные потребности – в других видах деятельности. Такой пробельный анализ основан прежде всего на качественном анализе информации. Главное место отводится поиску ответа на вопрос, достаточно ли имеющихся знаний для удовлетворения нереализованных потребностей.

Перед нами стоит иная задача: необходимо с точки зрения не обладающего нужными компетенциями стороннего наблюдателя определить, в каких местах следует ожидать научных прорывов. Результаты фундаментальных исследований, в отличие от прикладных разработок, невозможно запланировать, поскольку это творческий процесс, которым сложно управлять. Тем не менее, планирование фундаментальных исследований по количеству опубликованных работ и прочим формальным показателям представляется оправданным, поскольку позволяет сократить затраты, не требуя глубокого погружения в предметную область. Избавившись от прикладного применения пробельного анализа, мы желаем перенести центр тяжести с прикладной науки на фундаментальную. Отныне нас интересует лишь один этап, оставшийся от первоначального метода пробельного анализа, – определение объема наличного знания. Собственно, эти действия далее мы и будем называть «поиском пробелов».

С точки зрения управления достижениями, пробел – это низкие результаты или отсутствие задела при нераскрытом потенциале. Проблема заключается в формализации понятия «пробел», выявлении значения «низких результатов». Для преодоления трудности воспользуемся возможностью обращения с запросами к наукометрическим базам данных, провайдером альтметрик, электронным библиотекам, поисковым системам в Интернете и другим цифровым платформам.

То, что при обращении к базе данных с запросом S с параметрами $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ мы получаем результат R , будем записывать так:

$$R = S(\{P_1, P_2, \dots, P_m\}), \quad (1)$$

где S – запрос; P_i – i -й параметр запроса S ; R – результат запроса S .

Задействовав семантические технологии [9, с. 222–266] для идентификации новых научных направлений, при поиске пробелов необходимо использовать ключевые слова, относящиеся к корпусу научных

текстов. Идентификация научного направления по набору ключевых слов является одним из узких мест. Эксперты должны следить за синонимией и полисемией в поисковых запросах.

Пробел в знаниях может быть найден только в том случае, если для него задан вышестоящий раздел знаний. Другими словами, необходимо указать категорию знания, по которой будет происходить поиск. В случае, если предполагаемый пробел является междисциплинарным, необходимо формировать пакет запросов по каждому из вышестоящих разделов.

Таким образом, в пробельном анализе используются следующие параметры:

$$P = \{P_1, P_2\}, \quad (2)$$

где P_1 – содержимое (текст) запроса; P_2 – раздел знаний, в котором ищется пробел.

Нужно убедиться в том, что тематическое направление, в котором ищется пробел, ассоциированное с содержимым запроса P_1 , связано с разделом знаний P_2 . Не учитывая, как соотносятся тематические направления и категории знаний, можно приходиться к ложным выводам. Подобную верификацию должен осуществлять эксперт.

Специфика задачи по поиску пробелов усиливает дисбаланс в наборах показателей, используемых для оценки достижений в определенном разделе знания, потому что пробелы в знаниях как структуры содержательно менее богаты, чем научные достижения. Например, если при оценке достижений рекомендовано пользоваться наукометрическими показателями активнее, чем библиометрическими, то при поиске пробелов в этой области нужно опираться преимущественно на наукометрические показатели, почти или совсем не используя библиометрические. Поиск пробелов похож на оценку достижений, но оценивая пробелы можно обходиться меньшим разнообразием видов показателей.

В связи с тем, что развитие науки адекватно выражается показателями публикационной активности, такими как количество проиндексированных в поисковых системах публикаций по различным направлениям, мы не рекомендуем использовать относительные показатели, например, цитируемость публикаций, для поиска пробелов. В этом примере допускается существование областей науки, имеющих низкую цитируемость, что вовсе не означает наличие пробелов, а свидетельствует лишь о пониженном интересе к данной области.

Для поиска пробелов обязательно обходиться одними лишь наукометрическими и библиометрическими показателями. Так, очень хорошо подходит вебметрический показатель количества выданных результатов по запросу к поисковой системе для сети Web. Следует иметь в виду, что пробелы могут существовать не только в научном информационном пространстве, но и в медиaprостранстве. Таким образом, допускается поиск пробелов по альтметрикам, таким как количество упоминаний слов в контексте, либо количество новостей, содержащих заданные слова и относящихся к выбранной сфере деятельности.

В случае, если выбранный показатель ниже некоторого порогового значения, допустимо строить заключение, что в указанном тематическом направлении данного раздела имеется пробел:

$$c(R) < c_0, \quad (3)$$

где R – результат запроса; c – метрика подсчета количества значений в результате запроса; c_0 – пороговое значение метрики c .

Если показатель, используемый для поиска пробелов, равен нулю, то с высокой точностью это может свидетельствовать о пробеле.

Здесь мы сталкиваемся с той сложностью, что разные науки имеют разные параметры. Соответственно, не только средние значения показателей различаются, но и «недостаточные» значения показателей также будут различаться, так как удовлетворительный результат для одной науки может быть низким для другой.

Один и тот же показатель для разных разделов знания может иметь разные пороговые значения:

$$c_0 = c_0(C), \quad (4)$$

где c_0 – минимальное пороговое значение; C – выходящий раздел знаний, $P_2 \subseteq C$.

Такое соответствие устанавливается экспертами единожды.

Следует отметить, что после того, как пробелы обнаружены, их необходимо интерпретировать. Сами по себе пробелы не всегда нежелательны. Возможно, с общечеловеческих позиций в некоторых областях знания пробелы – это скорее норма, и их заполнение может быть бессмысленным или вовсе вредным.

ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАРОЖДАЮЩИХСЯ НАПРАВЛЕНИЙ НА КАРТАХ НАУКИ

Достаточно много информации публикуется по новым тематическим направлениям, исследовательским фронтам и трендам. Очень удобно находить актуальные темы для будущих исследований, пользуясь средствами поиска по информационным ресурсам. Подобные ресурсы не первичны, поскольку прежде, чем включить новое направление в обзорно-аналитический материал, нужно сделать поисковую работу. Российская Академия Естественных наук (РАЕ) позволила авторам самостоятельно регистрировать новые направления исследований, т. е. обязанность по идентификации новых направлений была переложена на плечи самих же авторов [10]. Однако научная деятельность столь обширна, что далеко не все новые направления даже только в отечественной науке могут быть охвачены подобным реестром, поэтому следует уделить внимание развитию методов обнаружения недавно появившихся научных направлений на основании анализа данных, поступивших из первичного потока информации.

Знание зарождающихся технологий (*emerging technologies*) позволяет достичь инновационного лидерства, существует изобилие методов их обнаружения. Тем не менее, поиск зарождающихся направле-

ний прикладной и тем более фундаментальной науки в сравнении с технологиями имеет свою специфику.

Научный ландшафт (*research landscape*) раскрывает структуру и основные тенденции развития области знания. Процесс его построения часто называют картированием науки (*mapping studies*). Эти термины аналогичны общепринятым понятиям «патентный ландшафт» и «патентное картирование» с тем отличием, что применяются они не к патентам, а к научным публикациям [11, с. 70].

Карта науки – это графическое представление научной области, где элементы карты позиционируются по отношению друг к другу таким образом, чтобы связанные между собой располагались в окрестностях друг друга, а темы, не связанные или почти не связанные, отдалялись друг от друга [12].

Для того, чтобы дать ответ на вопрос, какой должна быть карта для поиска зарождающихся направлений фундаментальной науки, опишем параметры научных карт.

Базовыми элементами, на основе которых строится карта, могут быть патентные документы или публикации в научных журналах за выбранные годы [13]. Понятно, что патентные карты строятся на основе патентных документов, а научные карты – на основе публикаций.

Связи между базовыми элементами могут строиться на анализе цитирований, совместно встречающихся слов и соавторства. Взаимосвязи, основанные на цитировании, в свою очередь также могут строиться несколькими способами, включая прямое цитирование и несколько видов библиографических сочетаний и социтирований. При анализе совместно встречающихся ключевых слов каждому документу коллекции ставится в соответствие набор дескрипторов, описывающих его содержание. Взаимосвязь между дескрипторами образуется, если эти дескрипторы совместно встречаются в описании хотя бы одного документа. Взаимосвязи, основанные на соавторстве, образуются между авторами, опубликовавшими совместную статью, а также между институтами или странами, сотрудники или граждане которых имеют совместные публикации [13].

Конечно, тип связи – это важный параметр карты науки, но наряду с ним должен быть также задан другой параметр – способ количественной оценки *силы связи* между базовыми элементами карты.

Для того чтобы сформировать наглядную карту науки, надо отобразить плоскость таким образом, чтобы пары элементов с высокими показателями сходства располагались на указанной плоскости ближе друг к другу, чем пары элементов с меньшими показателями [13, с. 14]. Подобная задача решается методами кластеризации. Выбор метода кластеризации является одним из параметров карты.

Крупные карты науки сложно анализировать, поэтому новые тематические направления следует искать на микроуровне. Большие карты науки позволяют находить зарождающиеся разделы знания более крупного размера. Тем не менее, плюс карт науки даже мелкого уровня заключается в том, что они позволяют видеть картину в целом. Одной карты науки

может быть достаточно, чтобы обнаружить сразу несколько зарождающихся направлений.

При построении карты науки нужно определить, что будут представлять собой узлы (кластеры) карты. Это могут быть тематические направления, авторы, журналы, аффилиации и прочие атрибуты, по которым группируются документы [14]. Так называемые *атласы науки* (*atlas of science*) можно генерировать путем кластеризации и наложения карт из разных периодов [15].

Карта науки, наряду с диаграммой, является одним из способов визуализации данных. Диаграммы применяются для визуализации табличных данных, а карты науки предназначены для визуализации не только табличных, но и сетевых, а также матричных данных. Карты науки могут быть выполнены в виде графов, кластерных или тепловых карт [13].

При построении карт науки используются оформительские элементы, которые могут задавать размер, цвет и расстояние между элементами этих карт. На картах науки можно вводить различные дополнительные метрики. Так, на них могут быть обозначены темы с возрастающим и уменьшающимся интересом [16].

Основная ценность картографического способа визуализации данных заключается в возможности продемонстрировать распределение элементов в условном пространстве карты, показывая расстояния между ними. Зная распределение элементов в пространстве карты, мы можем находить в окрестности выбранного элемента все существующие элементы, которые считаются близкими, например, тематически связанные публикации одного временного периода [14, с. 168].

Исследуя карты науки, можно выделять наиболее интенсивно развивающиеся тематики и делать предположения относительно вероятности достижения в будущем качественно новых научных результатов на накопленном базисе [13, с. 18].

Появление новых тематических направлений необходимо отслеживать, рассматривая исследовательские фронты в целом и их удаленность от одной или нескольких конкретных областей на карте научных дисциплин [17, с. 14].

Таким образом, при формировании карты науки следует учитывать следующие параметры:

- вид документов;
- тип связи между документами;
- методику оценки силы связи между документами;
- методику кластеризации документов;
- уровень детализации карты;
- признак группировки документов;
- периодизацию и дополнительные метрики;
- способ визуализации при отображении карты.

Зарождающиеся направления фундаментальной науки предлагается нами искать на таких картах, где:

- в качестве базового вида документов выбрана журнальная публикация;
- публикации сгруппированы по тематике;
- карты из различных временных срезов составлены в виде атласов.

Пробелы в науке для нас – это прежде всего пробелы в научных знаниях, правда, безотносительно

субъектов, являющихся носителями этих знаний, это лишь «белые пятна» на картах науки, т. е. пустота. С помощью карт науки возможно обнаруживать зарождающиеся тематические области, которые уже нельзя назвать пробелами.

Между тем, в случае прикладной науки имеется возможность сочетания поиска зарождающихся направлений с помощью карт науки с пробельным анализом. Так, если было установлено, что в прикладной области имеются пробелы по техническим разработкам, но накоплен задел в виде публикаций, то определенно можно свидетельствовать, что эта прикладная область не успела исчерпать свой потенциал. Имеющийся задел может быть представлен стабильно развивающимися направлениями, которые мы рассмотрим далее.

ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НАУКИ

В области экологии в 70-х г. прошлого века понятие «устойчивое развитие» (*sustainable development*) означало такой способ развития, который не содержит в себе угрозы уничтожения и сохраняет ресурсы для самовосстановления. В 80-е г. этот термин стал активно использоваться в социальных науках [18, с. 4].

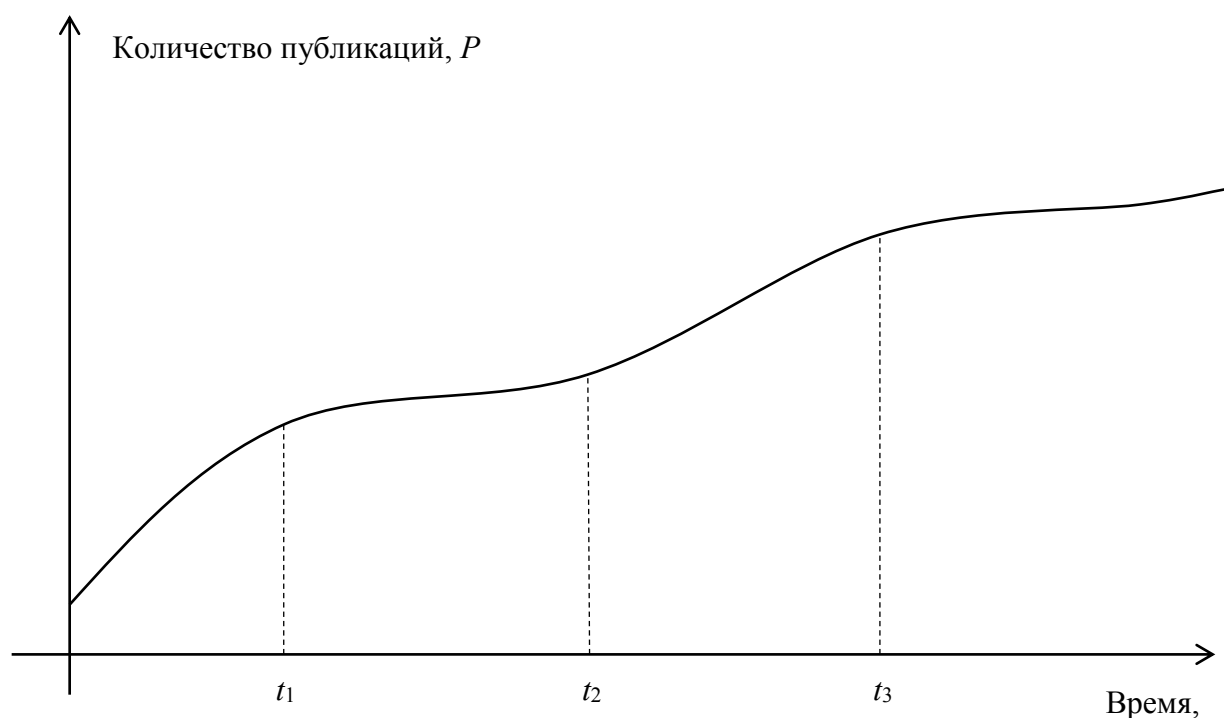
В контексте науки под *устойчивым развитием* будем понимать поведение науки как способной к саморегуляции системы, когда она стремится избавляться от пробелов, заполняя их новыми знаниями, не преумножая их, и разрешать проблемные ситуации, не провоцируя их появление.

Отсутствие масштабных видимых результатов сделало концепцию устойчивого экономического развития объектом критики [19, с. 22].

Концепция устойчивого развития науки также оспаривается. Альтернативой является теория сатурации (*saturation* – «насыщение»), согласно которой развитие науки будет остановлено, когда наука достигнет пределов роста [20]. Существует ряд других теорий, например, открытые в начале прошлого века Н.Д. Кондратьевым (N.D. Kondratiev) циклы, или технологическая сингулярность нашего современника В.С. Виджа (V.S. Vinge), описывающие иначе законы и сценарии, по которым может развиваться наука. Главное, что можно вынести из этих теорий – это то, что развитие науки может замедляться или ускоряться.

Торможение развития науки может происходить многократно по мере наступления кризисов и выхода из них. В этом случае характер развития науки принимает вид S-образной кривой с несколькими точками перегиба (см. рисунок).

S-образная кривая ранее использовалась для описания изменения интереса к нововведениям с течением времени [21], но, на наш взгляд, эту модель можно было перенести с инноваций на прикладные науки и далее обобщить до науки в целом. Подобные аналогии допустимы, поскольку экономика и наука тесно связаны между собой. Действительно, наука не только работает на экономику, но и зависит от экономики, требуя ресурсов. Так, прогресс в создании вакцин обуславливается не только публикационной активностью в медицинских журналах, но и зависит от размеров финансирования и количества выделенных ресурсов.



S -образная кривая роста показателя публикационной активности с тремя точками перегиба: t_1 , t_2 и t_3 (на интервале $[0, t_1]$ наука развивается активно, на интервале $[t_1, t_2]$ имеет место быть кризис, на интервале $[t_2, t_3]$ наука продолжает развиваться, а при $t > t_3$ снова наступает кризис).

Упомянутые концепции, теории и модели относятся к науке в целом, нас же интересует прогнозирование развития науки на микроуровне в коротких интервалах времени.

Здесь нужно вспомнить о том, что в 60-х годах прошлого века В.В. Налимов (V.V. Nalimov) утверждал, что различные научные направления могут развиваться с разной степенью интенсивности, даже если они относятся к одной области знания. В таком случае скорость роста числа публикаций по отдельным научным направлениям может служить мерой актуальности этих направлений.

Экспоненциальный механизм достаточно хорошо объясняет процесс роста на микроуровне при изучении развития отдельных узких научных направлений за небольшой промежуток времени. Однако, если потенциальные возможности прогресса в той или иной узкой области начинают исчерпываться, то экспоненциальный рост может перейти в линейный [22].

Таким образом, после прохождения начальных пробельной и зарождающейся стадий жизненного цикла научное направление некоторое время развивается в соответствии с экспоненциальным законом роста. Анализируя скорость развития тех или иных направлений, можно делать вывод о том, насколько активно ведутся исследования в этих областях. Дифференцированный по разделам знания подход к выбору показателей публикационной активности, на основании которого экстраполируются кривые развития научных направлений, позволит находить тренды там, где они действительно присутствуют.

Однако в рамках устойчивого развития допускается не только нормальное формирование новых научных направлений в соответствии с моделью их жизненного цикла, но и скачкообразные качественные изменения в отдельных областях науки без видимых на то оснований с точки зрения динамических трендов. Такие изменения не содержат вероятностно-статистическую природу, а имеют более веские основания, и потому требуют дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поиск актуальных тем для будущих исследований включает как обнаружение новых или возникающих, так и предсказание появления еще не зародившихся научных направлений. При этом чем актуальнее может быть новое научное направление, тем ниже точность оценки или прогноза.

Предсказание появления новых тем может быть основано на «пробельном анализе» Э.С. Бернштейна, т.е. определяться по отсутствию информации о перспективных областях науки. На наш взгляд, метод пробельного анализа на сегодняшний день уже устарел, поэтому нами была предпринята попытка его адаптации к современным возможностям информационного поиска.

Для обнаружения зарождающихся направлений годятся карты науки, однако, в поиске пробелов в знаниях они не помогут. Тем не менее, рассмотренные в настоящей статье методы можно комбинировать в паре. Например, для прикладных наук можно искать пробелы в патентных документах и зарождающиеся исследовательские фронты на картах.

Динамика публикационной активности по отдельным научным направлениям в течение их активного периода жизни подчиняется экспоненциальному закону и поддается предсказанию методом экстраполяции. Однако на некоторых стадиях жизненного цикла рост научного направления может быть нейтральным, взрывным или замедляющимся, поэтому экстраполируя экспоненциальный рост научного направления следует учитывать его зрелость.

В целом, пробельный анализ знаний, поиск зарождающихся научных направлений с помощью карт науки и экстраполяция роста развивающихся направлений как методы прогнозирования научных достижений вполне сочетаются и взаимно дополняют друг друга, если применять каждый из методов на соответствующем этапе жизненного цикла научного направления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cahlik T. Comparison of the maps of science // *Scientometrics*. – 2000. – Vol. 49. – №. 3. – P. 373-387. DOI: 10.1023/A:1010581421990.
2. Либкин А.Н., Маркусова В.А., Либкин И.А. К вопросу определения динамики показателей периода полужизни журналов по *Journal Citation Reports* // *Научно-техническая информация*. Сер. 2. – 2020. – № 5. – С. 29-38. DOI: 10.36535/0548-0027-2020-05-4.
3. Chen Y.L., Kao H.Y. Finding hard questions by knowledge gap analysis in question answer communities // *Asia information retrieval symposium*. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2010. – P. 370-378. DOI: 10.1007/978-3-642-17187-1_36.
4. Woon E., Pang A. Explicating the information vacuum: stages, intensifications, and implications // *Corporate Communications: An International Journal*. – 2017. – Vol. 22. – № 3. – P. 329-353. DOI: 10.1108/CCIJ-10-2016-0066.
5. Певзнер Б.Р., Эльберт О.А. Разработки, косвенно связанные с проблематикой ИПС // *Петербургская библиотечная школа*. – 2012. – №. 2. – С. 15-17.
6. Бернштейн Э.С. Основные понятия информационного анализа-синтеза // *Научно-техническая информация*. Сер. 1. – 1981. – № 4. – С. 1-6.
7. Калачихин П.А. Прогнозирование фундаментальных исследований на основе наукометрических данных // *Научно-техническая информация*. Сер. 1. – 2020. – № 6. – С. 1-8. DOI: 10.36535/0548-0019-2020-06-1.
8. Бернштейн Э.С. Пробельный анализ как метод информатики // *Научно-техническая информация*. Сер. 2. – 1983. – № 6. – С. 1-15.
9. Тайсина Э.А., Галиева А.М., Валькман Ю.Р., Широков В.А., Поляков В.Н., Савинич Л.В., Стефанюк В.Л., Сулейманов Д.Ш., Гатиатуллин А.Р., Ефименко И.В., Хорошевский В.Ф., Фридман А.Я., Хасьянов А.Ф., Невзорова О.А., Якубова Д.Д., Харисов Р.М. Когнитивно-семиотические аспекты моделирования в гуманитарной сфере. – Казань: Изд-во Академии наук Республики Татарстан, 2017. – 346 с.
10. Ледванов М.Ю. Реестр новых научных направлений. – Москва: ИД «Академия Естествознания», 2018. – 245 с.
11. Девяткин Д., Нечаева Е., Суворов Р., Тихомиров И. Формирование научного ландшафта в области сельскохозяйственных наук // *Форсайт*. – 2018. – Т. 12, №. 1. – С. 69–78.
12. Noyons E. Bibliometric mapping of science in a policy context // *Scientometrics*. – 2001. – Vol. 50. – №. 1. – P. 83-98. DOI: 10.1023/A:1005694202977.
13. Богданов И.П. Картографирование наукометрической и библиометрической информации как инструмент оценки трендов научно-технического развития // *Препринты Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН*. – 2018. – №. 58. – С. 1–24. DOI: 10.20948/prepr-2018-58.
14. Акоев М.А. Картирование науки и технологии, прогноз развития // *Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии*. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2014. – С. 164–184. DOI: 10.15826/B978-5-7996-1352-5.0007.
15. Leydesdorff L. Various methods for the mapping of science // *Scientometrics*. – 1987. – Vol. 11. – №. 5-6. – P. 295-324. DOI: 10.1007/BF02279351.
16. Noyons E., Van Raan A. Advanced mapping of science and technology // *Scientometrics*. – 1998. – Vol. 41. – №. 1-2. – P. 61-67. DOI: 10.1007/BF02457967.
17. Шомшор М., Пендлбери Д., Роджерс Г. Отчет о международном исследовании «Как определить исследовательские фронты в Web of Science: от метрик к знаниям». – 2020. – URL: <https://clarivate.com/webofsciencetagroup>.
18. Полянский Д.В. Стратегия устойчивого развития цивилизации и концепция опережающего образования // *Преподаватель XXI век*. – 2007. – №. 2. – С. 3-7.
19. Гузикова Л.А. Критика концепции устойчивого развития // *Сб. трудов XIII международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие экономики: состояние, проблемы, перспективы»*. – Пинск: Полесский государственный университет, 2019. – С. 22-24.
20. Прайс Д. Малая наука, большая наука // *Наука о науке*. – М.: Изд-во «Прогресс», 1966. – 281 с.
21. Москвиченко И.М., Постан М.Я. О применении обобщенной логистической кривой для моделирования диффузии инноваций // *Управление проектами и развитие производства*. – 2001. – №. 1 (3). – С. 127-132.
22. Налимов В.В., Мульченко З.В. Наукометрия: изучение развития науки как информационного процесса. – М.: Наука, 1969. – 192 с.

Материал поступил в редакцию 25.06.21.

Сведения об авторе

КАЛАЧИХИН Павел Андреевич – кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник ВИНТИ РАН, Москва
e-mail: pakalachikhin@viniti.ru