

ОРЕХОВ

Виктор Дмитриевич,

кандидат технических наук,

директор департамента специальных программ,

АНО ВО «Международный институт менеджмента ЛИНК»

Измерение количества явных и неявных знаний

Рассмотрены подходы к измерению явных и неявных знаний, а также других типов сущностей из пространства знания. Даны оценки объема явного знания человечества и неявного знания специалистов различной квалификации.

Явные, неявные, кодифицированные, знания, измерение знания, публикации, патенты.

Если не можете что-либо измерить, то не можете этим управлять

Peter Drucker

Современная цивилизация стремится стать обществом знания. Ряд стран утверждают, что они построили «экономику знания». Но могут ли они утверждать, что сегодня знания стало больше, чем вчера и насколько? И какого знания, явного (формализованного, кодифицированного) или неявного? Евро-американская и японская [1] традиции управления дискутируют относительно приоритета того или иного типа знания.

Кодифицированное знание зафиксировано в книгах, статьях и на других печатных и ИТ носителях), оно может быть легко распространено по всему миру и быстро становится источником мирового богатства. Некодифицированное знание находится в разуме людей (в мыслительных структурах) и является как базой для реальной мыслительной и продуктивной деятельности, так и источником появления новых знаний. При этом в явное знание может быть преобразована лишь малая часть неявного знания, то, что удастся кодифицировать и не является рутинным знанием. До последнего времени только люди могли создавать новые знания, хотя современные компьютерные программы претендуют на эту роль.

Явное и неявное знания находятся в тесной взаимосвязи. Четыре вида трансформации в процессе создания знания, согласно работе Нонака и Такеучи [1], а именно: интернализация (обучение), социализация (обмен знаниями), экстернализация (кодификация) и комбинация (обработка знаний) являются основными процессами, в ходе которых появляется новое знание.

1. Определение понятия знание. В словарях можно увидеть такое определение концепции знания: «проверенный практикой результат познания действительности, верное ее отражение в мышлении человека» [2]. Однако проверить можно только явное знание – невозможно проверить то, что находится в голове человека. Классик философии науки Карл

Поппер считал, что требовать обоснования для научного знания не рационально. Он утверждал, что научное знание рационально не из-за его обоснования, а поскольку мы способны критически его анализировать. В работе «Logik der Forschung, 1934» [3] Поппер указывал на то, что научное знание появляется не из-за появления новых обоснований, а из-за критики гипотез, которые предлагаются для решения новых проблем.

В некоторых определениях концепции знание за исходную позицию принимается функция знания. Например: «Знания – основные закономерности предметной области, позволяющие человеку решать конкретные производственные, научные и другие задачи, а также стратегии принятия решения в этой области» [4]. Обращает внимание то, что в этом определении отделяются основные знания от рутинных.

В данной работе мы будем придерживаться позиции [5], что «Знание – это существенные результаты познания реальной действительности, являющиеся основой образования, производительной деятельности и закономерного развития человечества, отраженные в мышлении или на носителях информации и прошедшие критическую проверку квалифицированными экспертами».

2. Знание и информация. Для того чтобы приблизиться к пониманию того, как можно измерить знание, рассмотрим пространство, в котором оно существует. Известно утверждение некоего мудреца, которое гласит: «унция знания стоит фунт информации...». В этом определении знание соотносится с близким по природе объектом - информацией. Однако методы измерения количества информации хорошо известны, в отличие от знания.

Известна также модель иерархии знаний [6], которая утверждает, что пирамида знаний включает следующие иерархические уровни: данные, информация, знание, мудрость. Однако, применительно к этой модели, если относительно понятно в каком виде представляются данные, информация и даже знание, то этого нельзя сказать о мудрости. Более того, есть сомнение, что наиболее проверенное и важное знание приближается к истине. Если попытаться построить «пространство знания» исходя из понимания процесса познания, то мы получим картину, представленную на рис. 1.

На это схеме справа даны общие названия объектов типа знания, а слева – возможные их реализации. Стрелкой обозначено то направление, в котором движется познание человечества, расширяя сферу познанного и стремясь в будущем наиболее полно познать действительность. Целью познания является достоверное понимание реальной действительности. Приближаясь к ее пониманию, человечество никогда не может достигнуть абсолютного (истинного) понимания. Познавательный процесс движется не только в указанном выше направлении, но на отдельных этапах и в противоположном. Так, учебное

знание преобразуется в неявное в процессе обучения и т.д. Реальные научные произведения включают в себя значительное число данных, информации, гипотез и ретрознания.



Рис. 1. Формы знания в процессе познания [5]

3. Измерение знания. Таким образом, существует значительное количество разнообразных объектов типа знания, которые совместно наполняют пространство знания. Среди них можно выделить наиболее важные с точки зрения практики и измерения:

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1. Фантастические идеи | 6. Явные знания |
| 2. Гипотезы | 7. <u>Научные знания</u> |
| 3. <u>Данные</u> | 8. Учебные знания |
| 4. <u>Информация</u> | 9. Технологии, алгоритмы |
| 5. Неявные знания | 10. Ретрознания |

Данные и информация. Относительно просто определить объем данных и информации, которые сейчас измеряются в байтах, мегабайтах и т.д. Не всегда легко отличить данные от информации. Для их идентификации можно использовать то, в какой мере они прошли процедуру **5К**, которая включает в себя [7]:

1. *Контекстуализацию*: фиксацию целей, с которыми собраны данные.
2. *Категоризацию*: фиксацию составных частей или компонент данных.
3. *Калькуляцию*: математическую обработку данных.
4. *Корректировку*: выявление и исключение ошибок.
5. *Конденсацию*: преобразование данных в удобную для использования форму.

Научное знание измерять относительно просто, поскольку сейчас для этого разработаны специальные методы учета числа публикации и показатели их цитируемости

(индекс Хирши и т.д.). Соответственно существует несколько наукометрических баз данных: Scopus, SCImago, Web of Science, Science and Engineering Indicator. Отдельным блоком научных знаний являются патенты. Правда объективность измерения научных знаний снижается за счет языковых барьеров, поскольку в учет попадают в большинстве случаев научные статьи, публикуемые на английском языке. Также не совсем ясен вопрос учета объема этих публикации.

Фантастические идеи. фиксируются определенными базами данных, существует классификация научно-ориентированных фантастических идей. Основная проблема с этим типом знания заключается в их низком статусе. Однако вполне возможно создать базу научных фантастических идей, которые при правильном структурировании будут служить активатором научно-технической деятельности R&D специалистов. Объем данного вида знаний измеряется в единицах (штуках).

Гипотезы. Этот вид знаний является ключевым в процессе познания. Однако гипотезы не имеют формального статуса, как учитываемый вид знаний, и часто не воспринимаются, как достижение познания. Их учет можно формализовать, но это требует проработки вопроса отделения статуса научных гипотез от фантастических идей и псевдознания, что можно осуществлять, например, на уровне экспертного сообщества. Число гипотез измеряется в единицах.

4. Измерение явного знания. Поскольку измерение количества публикации на системной основе началось относительно недавно, то для учета объема явных знаний желательно использовать и подходы, которые можно было бы использовать в прошлом. Это позволит также учесть знания, которые важны для общества, но не являются непосредственно предметом науки, например, религиозные труды и т.д.

Поскольку примерно до 1960 года большая часть кодифицированной информации хранилась на бумажных носителях, естественно, что и объем знаний в этот период связан с объемом изданных книг. Для определения объема мировых знаний в качестве опорных точек можно использовать данные об объеме книг, брошюр и газет в библиотеке конгресса США, который в 1960 году составил порядка 14,5 млн книг и брошюр, в 2000 году – 30 млн, а в 2012 году – 35,8 [8-10]. Понятно, что в Библиотеке Конгресса хранятся не все знания мира, но она является крупнейшим хранилищем знаний в настоящее время. Кроме того, в ней имеются дубликаты. Поэтому, с некоторым приближением, можно принять объем хранения в ней за все знание человечества.

В связи с разнообразием единиц хранения будем использовать понятие «условная книга» - у.к., которая равна по объему книге, которая при оцифровании будет иметь объем 1 Мбайт. Мы будем избегать использования Мбайт для измерения объема знания, чтобы

подчеркнуть отличие знания от информации. В этих единицах суммарный объем хранения в Библиотеке Конгресса составит: в 2000 г. – 18 млн. у.к., в 1960 г – в два раза меньше или 9 млн. у.к., а в 2012 г. – 21,5 млн. у.к.

В качестве четвертой опорной точки выберем Александрийскую библиотеку, которая была создана примерно в 300 году д.н.э. и имела в своих хранилищах от 100 000 до 700 000 свитков [11]. Хотя точно не ясно, каков размер этих текстов, но можно принять, что по порядку величины он равен примерно одной пятой условной книги. Хотя Александрийская библиотека и не содержала знание всего человечества, но она была близка к нему, поэтому примем объем знаний, хранящихся в этой библиотеке, за все знания мира на то время – 80 тыс. у.к.

Наконец, в качестве последней точки выберем время в начале зарождения человечества – 1,6 млн. лет назад, когда число людей составляло $N_0 \sim 100$ тыс. [12] Поскольку в это время не существовало разделения людей по профессиям, то за объем знаний человечества можно принять объем нейронной памяти одного индивидуума, степень развития которого превосходит шимпанзе, но меньше, чем современного человека, ~ 20 у.к. [13]. Полученные оценки объема знаний и их связь с ростом численности человечества даны в таблице 1. Как видно из этой таблицы объем знаний в расчете на одного человека меняется по времени относительно медленно. Таким образом, основным параметром, влияющим на объем знания человечества - Z , является число людей $Z \sim N$. Соответственно для аппроксимации мирового объема знаний можно использовать формулу типа гиперболы [14].

$$Z \approx 1,5 \cdot 10^9 / (2025 - T)^{1,25} \quad (1)$$

Таблица 1. Объем знаний человечества

| № | Источник | Год от начала н.э. | Насел. Земли, млн. | Объем знаний, тыс. у.к. | Знаний у.к. на тыс. чел. |
|----|----------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1. | Библиотека конгресса | 2012 | 7 000 | 21 500 | 3,07 |
| 2. | Библиотека конгресса | 2000 | 6 000 | 18 000 | 3,00 |
| 3. | Библиотека конгресса | 1960 | 3 077 | 9 000 | 2,92 |
| 4. | Александрийская библиотека | -300 | 86 | 80 | 0,93 |
| 5. | Возникновение человека | -1 600 000 | 0,1 | 0,02 | 0,20 |

Данная формула (1) верна в период гиперболического роста человечества (до 1960 года и с большей погрешностью до 1975 г.). Используя формулу для численности человечества в период гиперболического роста [12] $N \approx C / (T_1 - T)$ можно получить выражение для объема знаний, корректное и в период демографического перехода [14].

$$Z \approx Z_0 \cdot (N/N_0)^{1,25} = 20 \cdot (N/N_0)^{1,25} \quad (2)$$

(здесь $N_0 = 100\,000$ – условная численность человечества 1,6 млн лет назад).

Выведенные формулы для объема знаний человечества (1), (2) являются оценками по порядку величины, однако из них видно, что объем знаний зависит, в основном, от числа людей и соответственно от времени в период гиперболического роста. Кроме того, есть и показатель, связывающий рост объема знаний с совершенствованием человеческого мозга, поскольку из формул (1), (2) видно, что объем знаний растет не пропорционально числу людей, а быстрее – в степени 1,25.

6. Измерение явного знания через учет публикаций

Использованный выше подход к учету знаний человечества хотя и не очень точен, но позволил рассмотреть всю картину роста знания на протяжении всей истории человечества. Годовой прирост знания - ΔZ можно оценить, как по формулам (1, 2), так и по годовому объему публикаций и патентов в мире - ΔP . Хотя они и не исчерпывают всех источников знаний, но являются основными тщательно фиксируемыми и не дублированными источниками знания. Сравнение динамики выдачи патентов и публикаций показывает (рис. 2), что их число по-разному изменяется во времени. До 1946 года число патентов превышает число публикаций, а позднее, наоборот количество публикаций в 2-3 раза превосходит число патентов. Это, видимо, связано с тем, что патенты раньше стали тщательно регистрировать, чем другие виды публикаций.

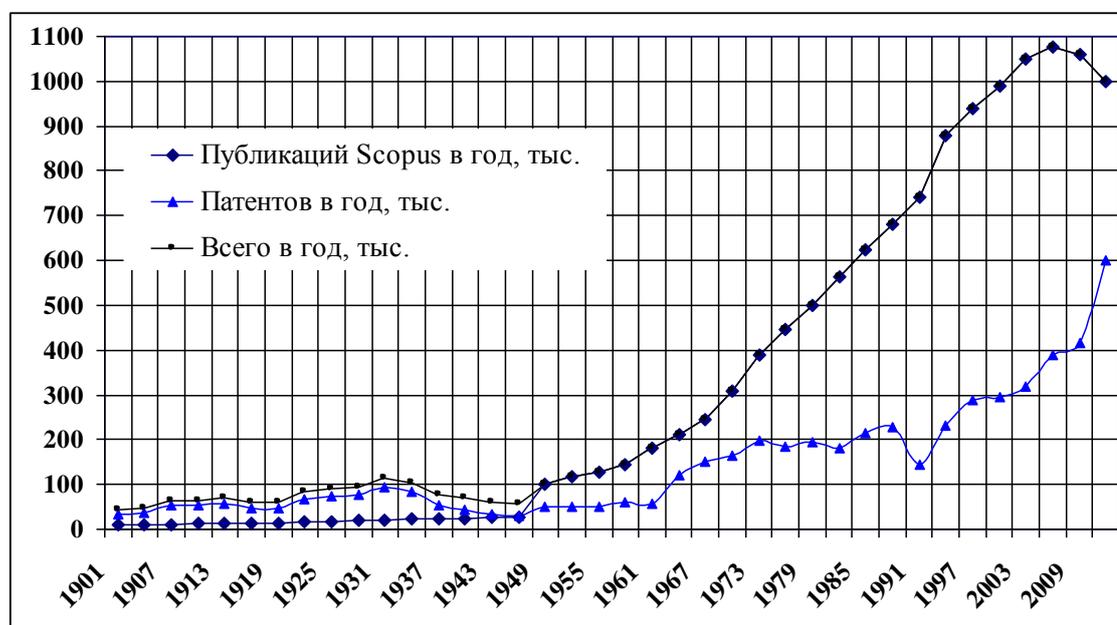


Рис. 2. Рост годового числа патентов и публикаций в мире

С другой стороны в базе Scopus представлено примерно 25 млн. патентов [15]. С 1949 года, когда в базе Scopus наблюдается резкий скачок публикаций, во всем мире было выдано примерно 28 млн. патентов. Таким образом, можно полагать, что до этой даты включение патентов в Scopus было ограниченным, а после ее весьма полным. В

соответствии с этим, при расчете суммарного прироста числа публикаций и патентов - $\Delta P(T)$ до 1949 года суммировались данные по количеству патентов и публикаций из базы Scopus, а начиная с этой даты использовались только данные из Scopus.

Для сравнения зависимостей $\Delta Z(T)$ и $\Delta P(T)$ было принято, что в среднем каждая публикация из базы Scopus [16] и каждый патент [17] (здесь учтены только патенты, выдаваемые резидентам) имеют объем, равный 15% условной книги (у.к.). При расчете прироста знания - ΔZ до 1975 года использовалась гиперболическая формула (1), а после нее – формула (2), а также статистические данные по численности населения мира [12].

Результаты сравнения прироста объема знаний человечества - $\Delta Z(T)$, вычисленного по формулам (1, 2), и прироста публикаций и патентов - $\Delta P(T)$ показал, что обе кривые выходят «на полку», однако между расчетной кривой и зафиксированным в Scopus объемом публикаций существует сдвиг по времени примерно на 25 - 30 лет. Это свидетельствует о том, что в формулах (1, 2) нужно учесть задержку на время взросления людей. В первом приближении это можно сделать, используя в формулах (1, 2) значение числа людей на 25 лет ранее - $N(T-25)$ и, соответственно, увеличив в 1,5 раза числовой коэффициент. При этом они приобретают следующий вид:

$$Z \approx 2,25 \cdot 10^9 / (2050 - T)^{1,25} \quad (3)$$

$$Z \approx 30 \cdot (N(T-25)/N_0)^{1,25} \quad (4)$$

Сравнение аппроксимационных формул (1) и (3) для объема знания, а также опорных точек из таблицы 1 за последнее столетие дано на рис. 3. Видно, что формула (3) значительно лучше аппроксимирует опорные точки, чем формула (1).

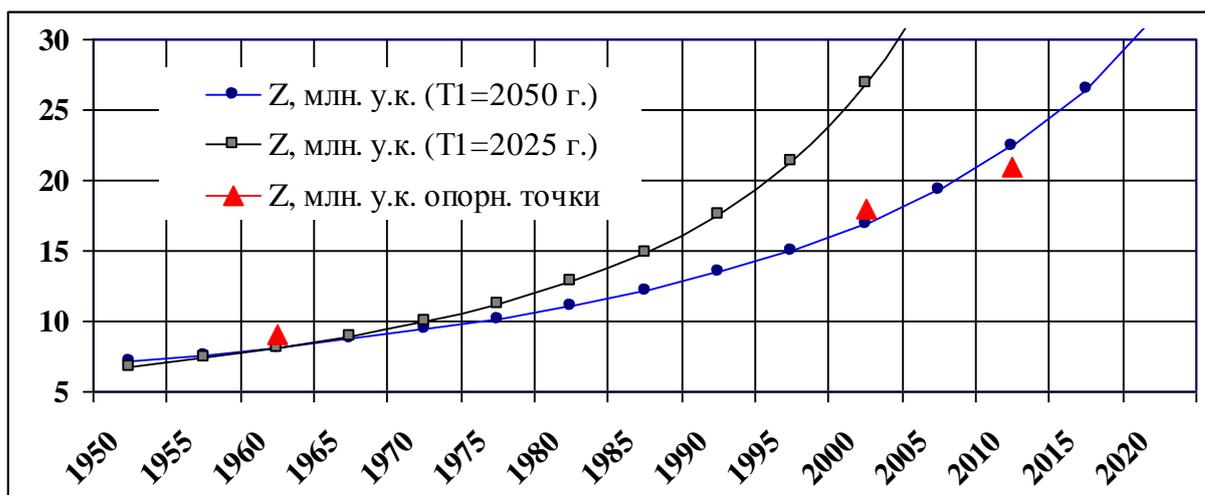


Рис 3. Сравнение аппроксимационных формул (1) и (3)

Сравнение расчетных значений прироста знания $\Delta Z(T)$ по формулам (3, 4) с приростом числа публикаций, включая патенты, $\Delta P(T)$ дано на рис. 4. Для удобства сравнения здесь приведено утроенное значение $\Delta P(T)$. Видно, что кривые $\Delta Z(T)$ и $3\Delta P(T)$

достаточно близки друг к другу, причем они примерно одновременно выходят на полку. После 2020 года прирост объема знаний достаточно быстро уменьшается, что связано с демографическим переходом и падением темпов прироста населения мира.



Рис. 4. Сравнение расчетного прироста знания с числом публикаций

Видно, что использованный первоначально подход для оценки объема знаний человечества находит подтверждение с точки зрения учета объема публикаций

7. Измерение неявного знания

Значительно сложнее измерить объем неявного знания, поскольку оно находится в головах людей, причем сложно даже представить в каком виде. Однако для оценки по порядку величины можно воспользоваться следующим приемом. Будем считать, что объем неявных знаний, приобретенных человеком, прямо пропорционален количеству лет, в течение которых он их получал. Конечно, человек приобретает знания, не только получая формальное образование, но это основная часть полученных знаний, а остальные приобретенные им неявные знания примерно пропорциональны этой части. Таким образом, для каждого человека можно оценить объем накопленных неявных знаний

На рис. 6 представлена взаимосвязь между средним числом накопленных лет образования и натуральным логарифмом (\ln) ВВП на душу населения для различных стран [18] (для лиц в возрасте 25 лет и старше в международных долл. 2000 г.). Видно, что определенная статистическая взаимосвязь этих параметров наблюдается.

Поскольку по оси абсцисс здесь отложен логарифм ВВП, то это значит, что зависимость является примерно экспоненциальной. Таким образом, с ростом образовательного уровня (количества неявного знания) населения ВВП стран возрастает очень быстро. Высоко образованные специалисты вносят значительно больший вклад в ВВП страны, чем менее образованные. Поэтому вклад специалистов различной

квалификации следует учитывать с различным «весом». Причем с наибольшим весом следует учитывать интеллектуальный вклад специалистов в области НИОКР (R&D), т.е. научных работников. С учетом времени, которое уходит на подготовку квалифицированного научного работника, можно принять, что уровень его образования примерно на 6 лет больше, чем у специалиста, получившего высшее образование.

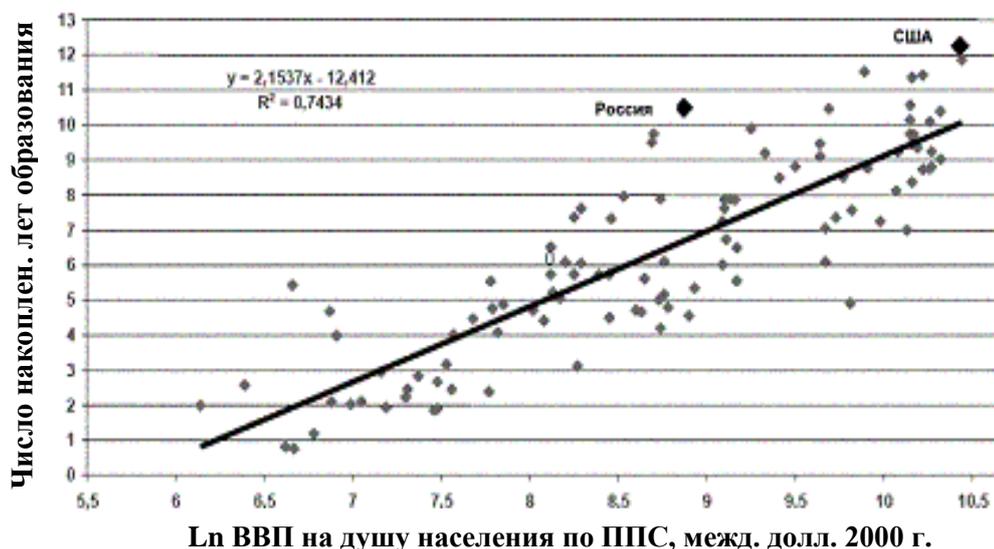


Рис. 6. Связь между образованием и ВВП на душу населения для различных стран

С использованием такого подхода было показано [14], что вклад специалиста в ВВП страны выражается экспоненциальной зависимостью от числа лет (E) обучения (в международных долл. 2010 г. по ППС):

$$G_E = 125 \cdot 10^{E/5} \quad (5)$$

Для того, чтобы привести объем неявных знаний специалиста к тем же единицам измерения, что и для явного знания мы можем условно приравнять год обучения к некоторому объему изученных условных книг. С учетом той учебной нагрузки, которую получают обычно студенты высшей ступени обучения, можно приравнять ее к 50 у.к. в год или примерно 5000 учебным страницам. В этом случае объем неявных знаний специалиста в у.к. будет равен

$$Z_H \approx 50 \cdot E \quad (6)$$

Таким образом, объем неявных знаний научного работника (R&D специалиста) составляет порядка 1100 у.к. Согласно формуле (3) объем знаний человечества составляет в настоящее время около 27 миллионов у.к., а количество R&D специалистов – около 7 млн. чел. Следовательно, на каждого R&D специалиста приходится около 4 у.к. уникального явного знания, т.е. около 0,4% от его неявного знания. В реальности доля относительно уникального явного знания минимум на порядок больше, поскольку специалисты говорят на различных языках и работают в разных странах. Кроме того, у

каждого специалиста есть уникальное неявное знание. Таким образом, порядка 10% неявного знания R&D специалиста является относительно уникальным, что и составляет его ценность, как специалиста. Не менее важным является и уникальность комбинации знаний, которыми владеет специалист.

Таким образом, опробование некоторых подходов к измерению количества явных и неявных знаний людей показывает, что это дает интересные результаты, с точки зрения управления знаниями.

Литература

1. Нонака И., Такеучи Х. Компания – создатель знания. – М., 2003.
2. Знание. Советский энциклопедический словарь. М. «Советская энциклопедия», 1987.
3. Поппер К. Р. Логика и рост научного знания. М., Прогресс. 1983.
4. Гаврилова Т.А., Червинская К.Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. М. : Радио и связь, 1992.
5. Орехов В.Д. Современное понимание концепции «знание». Вестник МИМ ЛИНК, №2, 2016.
6. Skyrme, D. J. and Amidone, D. M. Creating the Knowledge-Based Business, Wimbledon, Business Intellegence Ltd. 1997.
7. Управление знаниями в организациях: Учеб.-метод. Пособие. Подгот. Н.М. Жаворонковой. Жуковский, 2007.
8. Ушаков К. Хранилище вечности // СЮ. – 2007. – №7.
9. Библиотека конгресса. – Википедия, 2012. <http://ru.wikipedia.org/wiki>.
10. General Information – About the Library (Library of Congress). 2012.
11. Советский энциклопедический словарь М.: Советская энциклопедия, 1987.
12. Капица С. П. Парадоксы роста: Законы глобального развития человечества. 2012.
13. Анисимов В. О законе возрастания сложности эволюционирующих систем или что день грядущий нам готовит. www.yugzone.ru/articles/438, 2006.
14. Орехов В. Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания. Моногр. – Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. – 210 с. www.world-ewolution.ru
15. Scopus. Content Coverage Guide, 2013.
16. Mosher D. Genealogy of Science According to Scopus, Wired Magazine, 2011, 8 March. <http://aminotes.tumblr.com/post/4027872129/genealogy-of-science-according-to-scopus>
17. Немцов Э. Ф. Человечество становится всё изобретательнее. 2011.
18. Barro, R., J., Lee, J., W. International Data on Education Attainment: Updates and Implications, Oxford Economic Papers, 2001, Vol. 53. No 3; World Development Indicators, Washington: World Bank, 2005.