

## РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОЛОДЫХ РОССИЙСКИХ УЧЕНЫХ

**Ю.В. Аляева, Г.А. Долгих, А.А. Малахов, В.О. Мелихов**

Ключевым условием воплощения научных приоритетов страны является целенаправленный рост и наращивание кадрового научно-образовательного потенциала по наиболее важным и перспективным направлениям науки и высоким технологиям [1]. В этой связи в составе задач научно-методического обеспечение и организационно-технического сопровождения конкурсной и, главное – послеконкурсной деятельности необходимо выделить проблему разработки средств анализа и оценки результатов научных исследований молодых российских ученых – кандидатов наук и докторов наук, направленную на формирование кадрового потенциала, способного обеспечить развитие и реализацию государственных научных приоритетов.

### **1. Метод Ранговых оценок**

Одним из классических хорошо зарекомендовавших себя подходов [2] к решению задачи оценки результативности научных исследований является метод формирования ранговых оценок.

Ранжированием называется процесс упорядочения объектов, взятых в их совокупности, путем расстановки (присвоения) этим объектам числовых оценок – рангов. Порядковая шкала, получаемая в результате ранжирования, должна удовлетворять условию равенства числа рангов числу  $N$  ранжируемых объектов.

Как правило, проведение процесса ранжирования осуществляется поэтапно в ходе некоторой иерархически организованной процедуры, где для получения ранговой оценки агрегированного показателя верхнего уровня необходимо провести ряд последовательных локальных операций ранжирования, начиная с нижнего уровня в соответствии с построенной иерархией.

Локальная операция ранжирования производится либо на некотором (локализованном) подмножестве объектов, либо на подмножестве одноименных показателей для всех рассматриваемых объектов, и состоит из следующих шагов:

1. Упорядочение множества объектов оценки в соответствии с величиной конкретного показателя, относительного на нижнем уровне и агрегированного на промежуточном и верхнем уровнях.

2. Объект с наилучшим значением показателя (максимальным по численному значению) получает максимальный ранг или балл.

Таким образом, каждый показатель научных объектов в заданной иерархии показателей характеризуется парой взаимосвязанных оценок: балльной и ранговой. Результатом оценки является место, которое занимает данный объект по конкретному показателю. Объекту с наибольшим баллом по рассматриваемому показателю присваивается (соответствует) наивысший ранг (ранговая оценка), который соответствует первому месту.

Одним из принципов, на которых базируется методика ранжирования, является принцип однородности сравниваемых объектов. Чем более однородны (схожи) сравниваемые объекты, тем качественнее осуществляется их ранжирование. Поэтому в методи-

ке предусматриваются процедуры, позволяющие группировать научные объекты по некоторым признакам и проводить ранжирование внутри каждой из групп.

Другими принципами,ложенными в основу методики ранжирования, являются агрегирование и иерархия показателей. Последовательное агрегирование показателей позволяет объединить несколько близких по смыслу показателей в один сводный показатель следующего уровня иерархии.

Кратко перечисление основных этапов методики сводится к следующему:  
определение группы объектов, подлежащих ранжированию;  
сведение первичной информации о направлении исследования в единую базу данных;

определение системы весовых коэффициентов для всех уровней иерархии. При отсутствии особых требований все показатели считаются равнозначными и учитываются с весовыми коэффициентами, равными 1;

определение рангов (мест) объектов по каждому показателю всех уровней иерархии.

Применительно к рассматриваемой проблеме анализа научных исследований молодых российских ученых в рамках конкурсов, проводимых Роснаукой в 2005-2006 годах, в качестве базы первичной информации использовалась совокупность отчетных данных, полученных в 2005 г. по всем областям научного знания от победителей конкурсов 2004 г. (второй год исследований) и 2005 г. (первый год исследований).

Таблица 1

№ п/п	Конкурс	Количество в 2004 г.	Количество в 2005 г.	Всего
1.	Молодые кандидаты наук	МК-2004 283 отчета	МК-2005 500 отчетов	783
2.	Молодые доктора наук	МД-2004 50 отчетов	МД-2005 100 отчетов	150

При этом оценка научных отчетов проводилась по таким первичным показателям (ПП), как:

публикационная активность («Публикации»);  
участие в конференциях («Конференции»);  
участие в других бюджетных НИР ФЦП, ФЦНП и т.д. («Гранты»);  
наличие Internet-освещения научной деятельности («Internet»);  
участие в экспедициях («Экспедиции»);  
преподавательская деятельность («Преподавание»).

В представленной совокупности смысловой однородностью обладают группы грантополучателей:

работающих по одной области знания;  
молодых докторов наук;  
молодых кандидатов наук;  
завершивших первый год исследований;  
завершивших второй год исследований;  
а также группы, образованные как комбинации из перечисленных ПП.

Результаты ранжирования, определяющие места, которые занимают объекты в рассматриваемой группе по выбранному показателю позволяют:

дать оценку сравнительной результативности научных исследований из рассматриваемой группы по первичным или агрегированным показателям;

оценить место результативности и значимости научного объекта по сравнению с другими объектами такого же уровня.

Многоуровневая структура укрупнения показателей научной деятельности обычно представляется в форме **дерева агрегирования** [3]. Формирование дерева производится на основе системы безразмерных агрегированных показателей (АП), сгруппированных по тематическим рубрикам и образующим множество терминальных вершин кроны дерева агрегирования. На основе данных группы из нескольких ПП с помощью алгоритма «свертки» осуществляется формирование АП первого уровня, из которых в свою очередь строятся АП второго уровня и т.д. Последовательное агрегирование показателей «снизу вверх» позволяет объединить несколько показателей нижнего уровня в один сводный следующего уровня иерархии. Процесс свертки показателей является односторонним и осуществляется снизу вверх, т.е. от первичных показателей к итоговому через показатели промежуточных уровней.

Можно выделить два принципа подготовки агрегированных показателей дерева ранжирования из ПП:

по абсолютному значению;

по относительному значению.

Использование принципа оценки объектов по абсолютному значению возможно только на самом нижнем уровне дерева ранжирования при определении значений первичных показателей. Это объясняется тем, что абсолютные значения показателей выполнения научных работ имеют разную размерность. Все первичные показатели дерева являются относительными и определяются путем деления абсолютных значений исходных данных на показатель нормирования. Этим достигается единая размерность показателей ранжирования.

В соответствии с принятой методикой для системы оценки ПП имеется два вида формул, по которым выполняется расчет первичных показателей по значениям исходных показателей:

В первом случае формируется относительное значение  $\bar{x}_i$

$$\bar{x}_i = \frac{q_i}{p_i}, \quad (1)$$

где  $q_i$  – исходный показатель  $i$ -го объекта;  $p_i$  – некоторый показатель объекта с та-  
кой же размерностью, принимаемый за базовый параметр (за основание формулы).

Например, если  $q_i$  определяет численность среднего показателя «публикационной активности молодых ученых» за первый год исследований по  $i$ -той научной области, то в качестве  $p_i$  может использоваться численность среднего показателя «публикационной активности молодых ученых» по той же научной области за второй год.

Во втором случае формируется нормированное значение  $\bar{y}_i$

$$\bar{y}_i = \frac{q_i}{\sum_{j=1}^N q_j}, \quad (2)$$

где  $i$  – номер рассматриваемой научной области;  $N$  – число областей в группе.

Например, если  $q_i$  определяет численность среднего показателя «публикационной активности молодых ученых» за первый год исследований по  $i$ -й научной области, то  $\sum_{j=1}^N q_j$  по всем областям за первый год является коэффициентом нормирования.

При формировании структуры дерева ранжирования необходимо обосновать применение данных формул.

Формула (1) переводит абсолютные исходные показатели в относительные. Чаще всего обоснованием для этого является возможность сопоставления показателей полученных по объектам за разные периоды, т.е. в динамике.

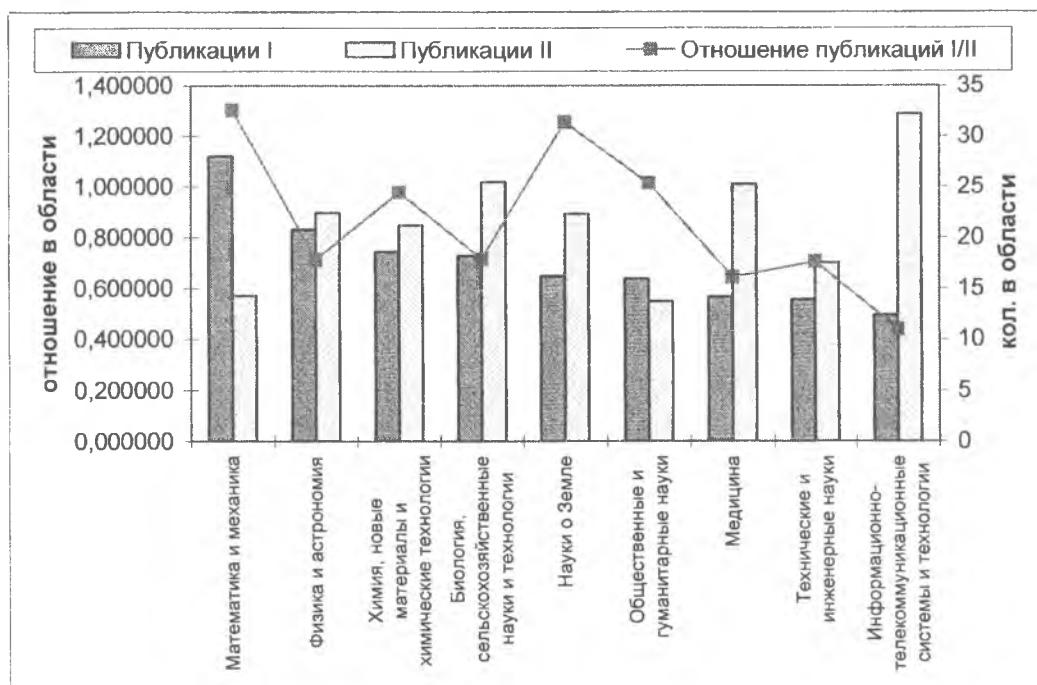


Рис. 1. Распределение относительной публикационной активности за I/II год

При использовании формулы (2) необходимо иметь в виду, что сумма  $\sum_{j=1}^N q_j$  является константой для рассматриваемой группы объектов. Поэтому вариационный ряд показателей  $\bar{y}_i$  не отличается, по получаемому распределению мест, от вариационного ряда исходных показателей  $q_i$ . Следовательно, формула (2) дает значения абсолютных приведенных показателей, а величина суммы  $\sum_{j=1}^N q_j$  является коэффициентом.

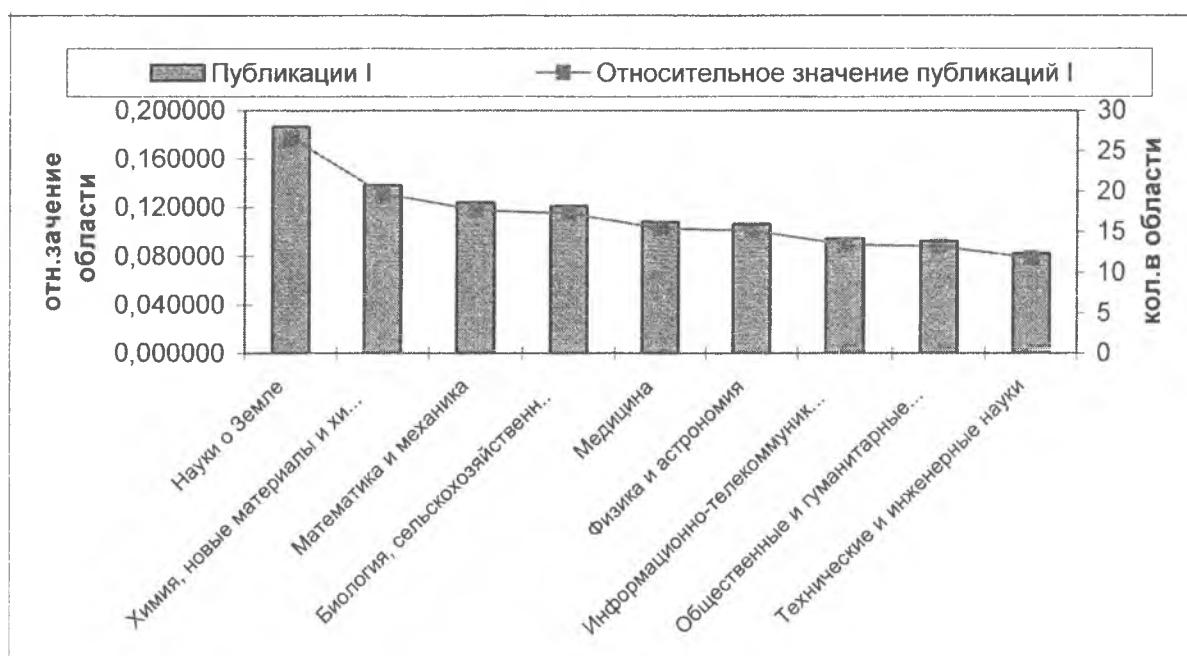


Рис. 2. Распределение средней публикационной активности за 1 год

Графики, представленные на рис. 1 и 2, иллюстрируют вышесказанное. На рис. 1 представлено распределение АП (относительной публикационной активности), рассчитанной по формуле (1) и два ПП (выражающие среднее количество публикаций, подготовленных по данной научной области за 1-й и 2-й год соответственно), на рис. 2. — тот же ПП и АП (нормированной средней публикационной активности), рассчитанной по формуле (2).

Другим вариантом анализа дерева агрегирования является "нелинейный", или "пропорциональный" алгоритм. Он состоит из следующих шагов:

1. Расчет величины диапазона изменения первичного показателя, по которому выполняется оценка, т.е.

$$d = x_{\max} - x_{\min}.$$

2. Расчет "стоимости" перехода на одно место  $s = \frac{d}{n}$ , где  $n$  — число мест. Число мест может быть равно числу объектов-участников или меньше в целое число раз (теоретически может быть задано любое число мест, но все иные варианты, кроме названных выше, не имеют смысла).

3. Расчет места по формуле  $m_i = \text{round} \left( \frac{x_i - x_{\min}}{s} \right)$ , где оператор  $\text{round}$  округляет аргумент до ближайшего целого.

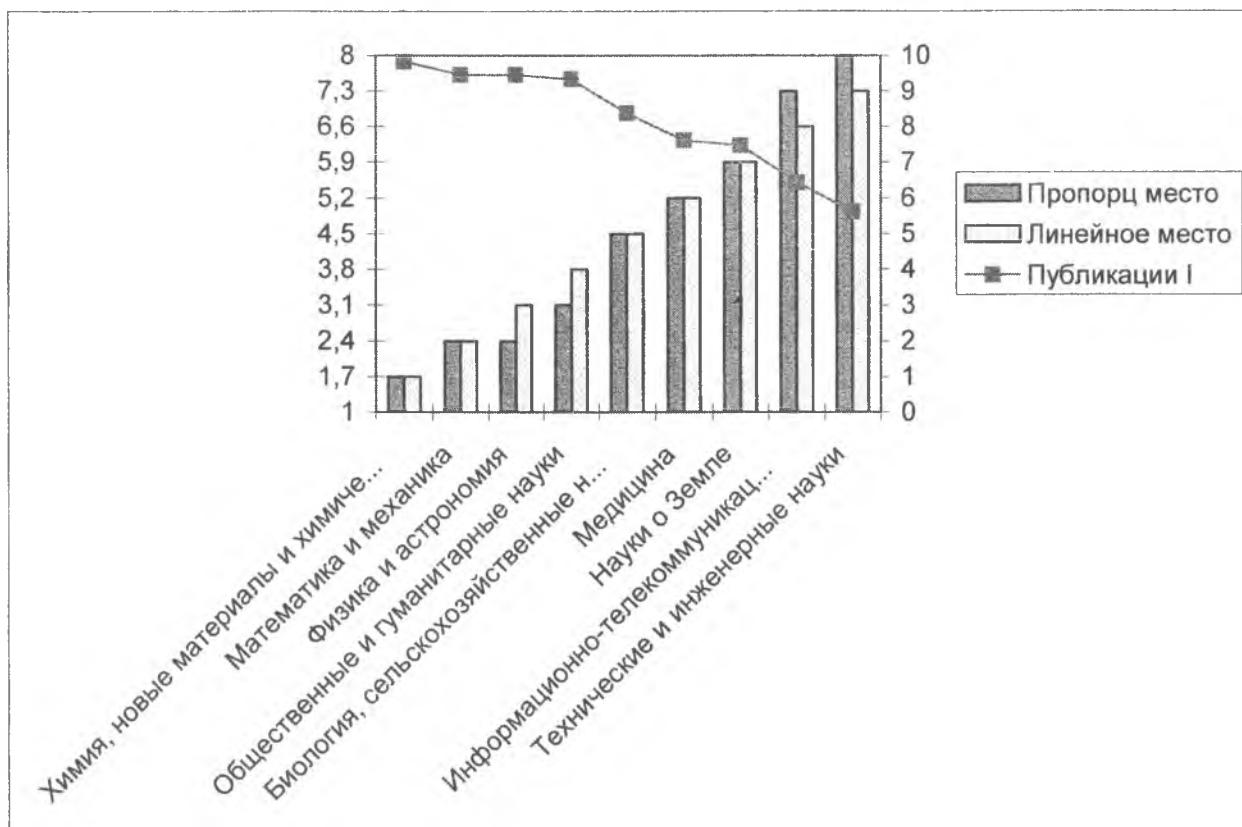


Рис. 3. Сравнение пропорционального и линейного распределения мест областей по показателю Публикаций за 1-й год

Представленный на рис. 3 пример сравнения пропорционального и линейного распределения мест объектов (областей научного знания) по показателю Публикаций за 1-й год демонстрирует ряд особенностей нелинейного распределения, при котором возможно:

назначение двух и более объектов на одно общее место (см. «Математика и механика» и «Физика и астрономия» на общем втором месте);

не назначение на некоторые места (см. «Науки о Земле» на 7 месте, а «Информационно-телекоммуникационные системы и технологии» сразу на 9);

расширение шкалы мест («Технические и инженерные науки» на 10 месте).

Ниже рассмотрим особенности порядкового («линейного») ранжирования. Процесс проведения ранжирования осуществляется на основе единого алгоритма последовательного укрупнения (агрегирования) информации о рангах исследуемых объектов по показателям предшествующего уровня иерархии дерева.

На рис. 4 приведен фрагмент дерева ранжирования, состоящий из двух последовательных уровней иерархии.

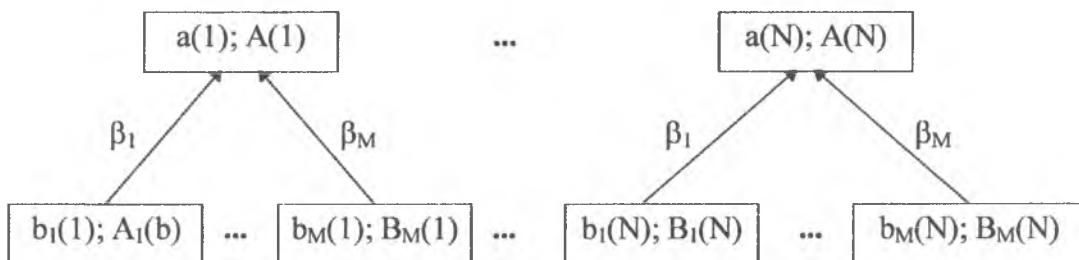


Рис. 4. Фрагмент дерева ранжирования

Узлы дерева ранжирования характеризуются парой  $[u_m(n), U_m(n)]$ , где  $u_m(n)$  – балльный показатель  $n$ -го объекта ( $n = 1, \dots, N$ ) по  $m$ -му показателю ( $m = 1, \dots, M$ );  $N$  – число объектов в группе;  $M$  – общее количество показателей ранжирования (узлов дерева ранжирования);  $U_m(n)$  – ранговый показатель  $n$ -го объекта по  $m$ -му показателю.

Значение рангового показателя соответствует месту, которое занимает или делит с другими данный объект. На самом нижнем уровне дерева  $u_m(n)$  есть первичный (или агрегированный) показатель.

Ранговый показатель  $U_m(n)$  определяется на основе операции ранжирования – упорядочения по местам объектов по величине балльного показателя  $u_m(n)$ . Балльный показатель определяется на основе операции свертки ранговых показателей узлов дерева предшествующего уровня, которые входят в данный узел. Операция свертки в балльный показатель  $u(n)$  следующего уровня иерархии дерева заключается в суммировании с заданными весами  $\beta_m \geq 0$  ранговых показателей  $U_m$  соответствующих узлов предшествующего уровня:

$$u(n) = \sum \beta_m \cdot U_m.$$

На рис. 4 верхнему (первому) уровню соответствует балльный показатель  $a(n)$  и ранговый показатель  $A(n)$ , предшествующий (второй) уровень состоит из  $m$ ,  $m = 1, \dots, M$ , частных (маргинальных) показателей, которым соответствуют балльные показатели  $b(n)$  и ранговые показатели:  $B(n)$ ,  $n = 1, \dots, N$ . Для апробации системы предположим, что все весовые коэффициенты  $\beta_m$  одинаковы и равны 1.

Схема ранжирования для примера рис. 4 приведена на рис. 5.

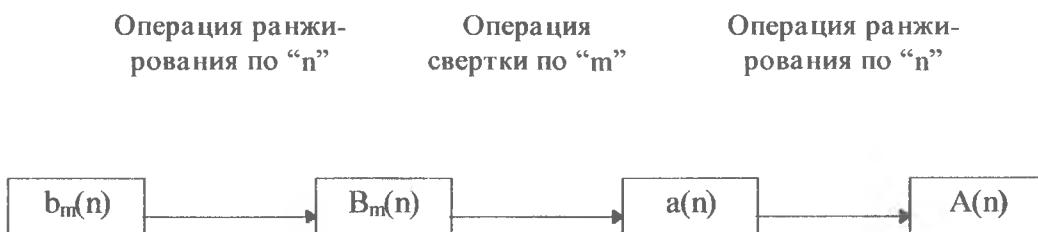


Рис. 5. Схема ранжирования

Таким образом, свертка показателей нижнего (второго) уровня даст агрегированный показатель на верхнем (первом) уровне.

Алгоритм ранжирования, основанный на присвоении объектам порядковых мест в соответствии с получаемым вариационным рядом показателей, имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при анализе оценок. Основное правило, согласно которому оценкой является место, присвоенное объекту по результатам ранжирования показателя, порождает следующие ситуации:

1. При наличии у объекта, занимающего 1-е место, значительного отрыва, по величине первичного показателя от следующего объекта, все участники, кроме лидера, получают завышенные оценки.

2. Возможна и обратная картина, когда невысокий результат лидера занижает весомость результата некоторой средней группы объектов.

3. При одинаковых значениях показателей у нескольких объектов они должны получить одинаковые места, равные среднему значению мест, для данной группы в вариационном ряду. Это приводит к тому, что объекты с нулевыми значениями первичного показателя получают не последнее место, равно как и объекты с максимальным результатом (100 %) получат не первое место. Первый случай приведет к тому, что на следующий уровень пойдет оценка, хотя и небольшая, но соизмеримая с оценкой по другому показателю, полученной за показатель, отличный от нуля.

## ***2. Апробация средств научно-методического обеспечения для проведения исследований результативности***

Ниже рассмотрим применение данной методики для решения задачи оценки публикационной результативности научных исследований молодых ученых по областям научного знания. Здесь, так же как и ранее, для формирования набора исходных данных использовалась информация о достигнутых молодыми учеными результатах, представленная в интерактивно заполненных научных отчетах по проектам, получившим положительные экспертизные заключения.

На основе интерактивно сформированной БД, содержащей в частности и показатели, характеризующие публикационную деятельность молодых ученых предлагается представленный на рис. 6 вид дерева ранжирования, для оценки публикационной результативности научных исследований.

Результирующая оценка (образованная по формулам линейного ранжирования) формируется как совокупная оценка по трем информационным блокам, отражающим балльные показатели:

публикационной деятельности в динамике;

средних нормированных объемов опубликования по категориям молодых ученых (докторов и кандидатов наук);

среднеквадратичные характеристики (дисперсии) объектов относительно группы в целом.

Для анализа публикационной деятельности в динамике используются показатели средних объемов опубликования за 1-й и 2-й годы проведения исследований. Средний объем опубликования оценивается по тем же АП средних значений публикационной деятельности, но уже в разрезе различных категорий молодых ученых – авторов публикаций. Для характеристики объектов относительно группы в целом используются пока-

затели среднеквадратичных отклонений значений из выборки характеризующей публикационную деятельность. Заметим, что в последнем случае балльные показатели считались тем выше, чем меньшими среднеквадратичными отклонениями характеризовалась выборка.



Рис. 6. Вид дерева ранжирования

Подготовленное с помощью разработанных средств научно-методического обеспечения дерево ранжирования в части АП первого уровня представлено на рис. 7. На рис. 8 в порядке убывания результативности (возрастания мест, см. столбец 1 «Комплексной оценки») представлен перечень объектов исследования областей знания, определенный при использовании предложенной методики для формирования ранговой оценки публикационной активности. Из списка наглядно видна роль каждого АП (см. столбцы 1.1, 1.2 и 1.3) в определении объекта на соответствующем месте.

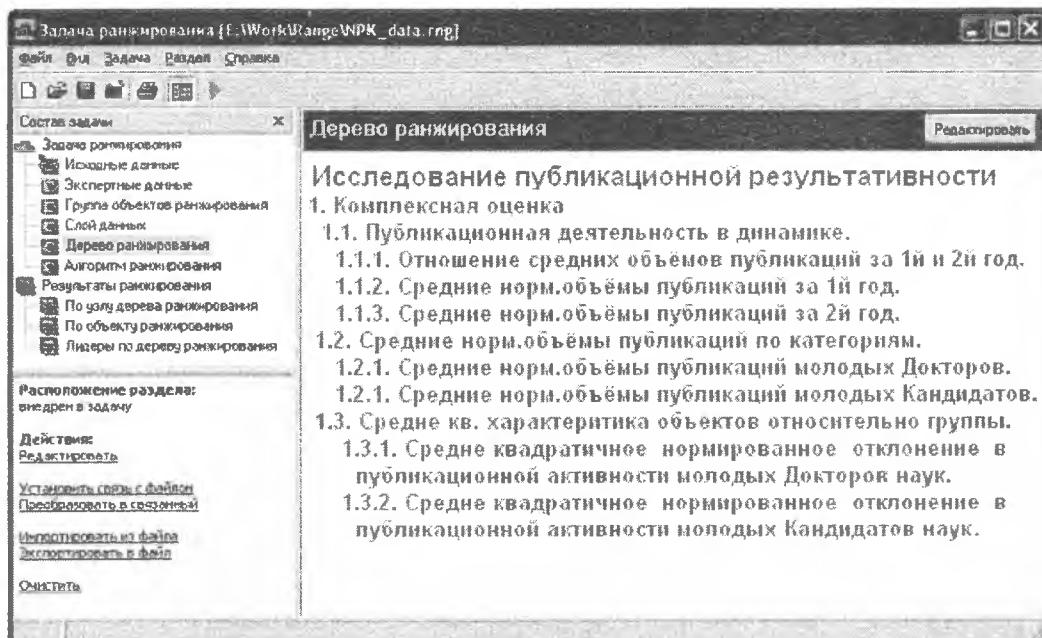


Рис. 7. Задача ранжирования

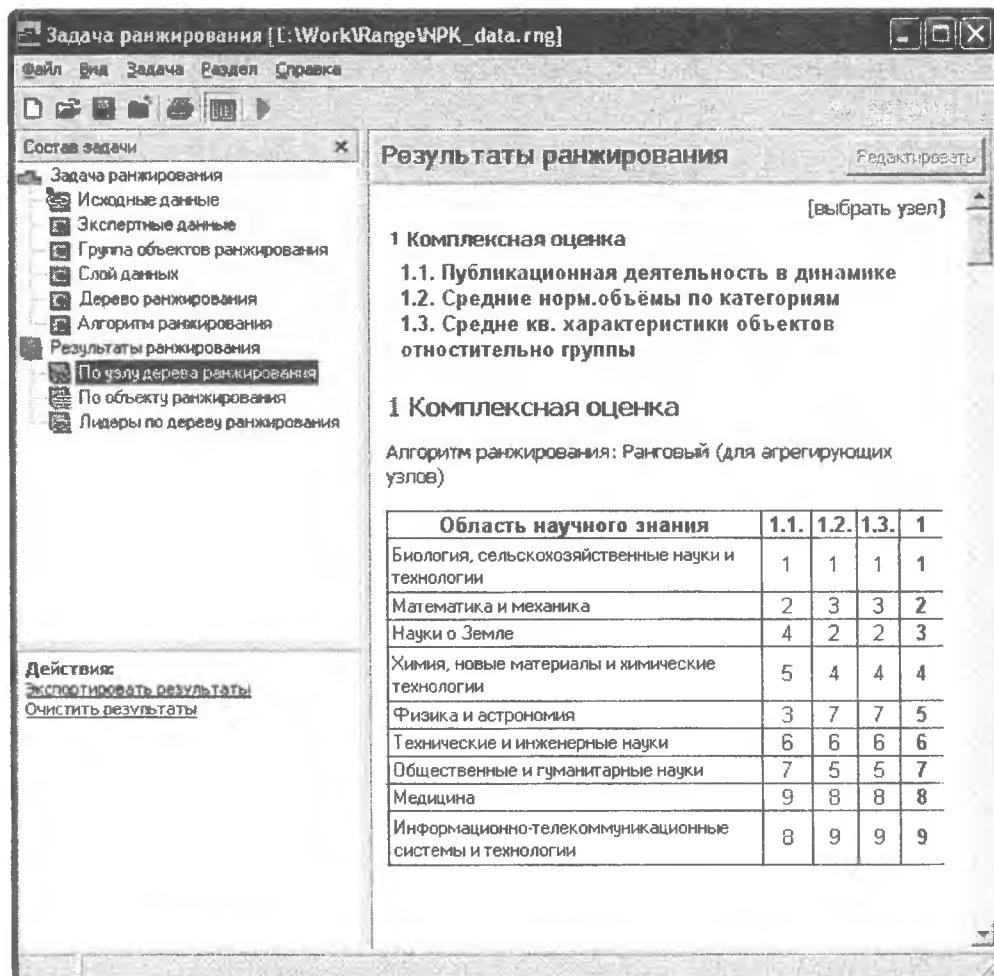


Рис. 8. Задача ранжирования

Аналогичные построения могут быть проведены и по остальным первичным показателям, формирующим результативность научных исследований. Например, в таблице 2 сведены балльные оценки АП *Активности исследований*, вычисленные в предположении о том, что для остальных видов результативности дерево ранжирования (в части показателей динамики) строится аналогично публикационной активности.

Таблица 2

	Области научного знания	Публикации	Конференции	Гранты	Internet	Экспедиции	Преподавание
<b>Соотношение объемов активности исследований за 1-й и 2-й годы исследований</b>							
1	Математика и механика	2	5	2	9	9	8
2	Физика и астрономия	3	3	3	5	6	7
3	Химия, новые материалы и химические технологии	5	1	6	7	7	5
4	Биология, сельскохозяйственные науки и технологии	1	4	8	4	5	1
5	Науки о Земле	4	7	4	1	2	4
6	Общественные и гуманитарные науки	7	8	7	6	3	3
7	Медицина	9	6	5	8	8	6
8	Технические и инженерные науки	8	2	9	3	1	2
9	Информационно-телекоммуникационные системы и технологии	9	9	1	2	4	9
<b>Среднее нормированное значение активности за 1-й год</b>							
1	Математика и механика	3	2	4	4	9	2
2	Физика и астрономия	6	3	2	3	6	7
3	Химия, новые материалы и химические технологии	2	1	5	9	8	8
4	Биология, сельскохозяйственные науки и технологии	1	5	6	5	2	3
5	Науки о Земле	2	7	3	2	1	9
6	Общественные и гуманитарные науки	5	4	8	6	3	1
7	Медицина	8	6	9	8	7	6
8	Технические и инженерные науки	6	9	7	7	5	5
9	Информационно-телекоммуникационные системы и технологии	9	8	1	1	4	4
<b>Среднее нормированное значение активности за 2-й год</b>							
1	Математика и механика	2	3	6	1	5	1
2	Физика и астрономия	7	6	3	3	8	3
3	Химия, новые материалы и химические технологии	4	9	4	7	9	8
4	Биология, сельскохозяйственные науки и технологии	1	7	2	6	2	6
5	Науки о Земле	3	4	5	9	1	9
6	Общественные и гуманитарные науки	5	1	7	4	3	4
7	Медицина	8	5	9	2	7	5
8	Технические и инженерные науки	6	8	1	8	6	7
9	Информационно-телекоммуникационные системы и технологии	9	2	8	5	4	2

Свертка АП *Активности исследований в динамике по различным видам результативности* содержится в таблице 3, итоговый столбец которой выражает (при равновесности всех показателей) общее размещение мест.

Таблица 3

	Области научного знания	Публикации	Конференции	Гранты	Internet	Экспедиции	Преподавание	ИТОГО
1	Математика и механика	2	1	3	4	8	3	1
2	Физика и астрономия	5	3	1	2	6	6	3
3	Химия, новые материалы и химические технологии	4	2	5	9	9	8	7
4	Биология, сельскохозяйственные науки и технологии	1	5	6	5	2	2	2
5	Науки о Земле	3	7	4	3	1	9	4
6	Общественные и гуманитарные науки	6	4	8	6	3	1	5
7	Медицина	8	6	9	7	7	7	9
8	Технические и инженерные науки	7	8	7	8	4	4	8
9	Информационно-телекоммуникационные системы и технологии	9	9	2	1	5	5	6

Представленные данные в своей совокупности формируют информационный базис для принятия управляющих решений по реализации конкурсной деятельности, направленной на формирование кадрового потенциала, позволяя, во-первых, уточнить состав анализируемых показателей результативности в период после конкурсной деятельности, а во-вторых, сформулировать предложения по наиболее эффективному распределению квот между областями знаний.

#### Список литературы

1. Меры по сохранению кадрового потенциала научно-технического комплекса. Концепция. Проект. Совет при президенте РФ по науке и высоким технологиям. Москва, апрель 2003.
2. Методика оценки эффективности научно-исследовательской деятельности вузов методами ранжирования. С.-Петербург, СЗНМЦ.: 2002.
3. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир, 1978.