

О границах применимости метода аналитических сетей в задачах принятия решений в естественных науках

К.А. Середкин

Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, г. Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматривается концепция, особенности, некоторые ключевые моменты и недостатки применения метода аналитических сетей (МАС) для задач принятия решений. Анализируется одна из ключевых проблем МАС циклы и методы ее решения на основе экспериментальных данных, на основании которых формулируется представление об авторской классификации сетей. Делается вывод о применимости МАС для разных видов сетей при решении естественнонаучных и некоторых других прикладных видов задач. Для наборов данных, непригодных для обработки посредством МАС, предлагается иной путь, заключающийся в использовании метода прямых влияний, разработанного группой ученых с участием автора на основе концепции аналитических сетей в качестве альтернативы МАС и использующийся для решения задач, не попадающих в область его применения.

Ключевые слова: системный анализ, аналитические сети, сетевой подход, метод аналитических сетей, МАС, Т. Саати, метод прямых влияний.

DOI 10.14357/20718594180208

Введение

В естественных науках достаточно часто встречаются задачи, требующие оценки каких-либо событий или явлений при условии влияния на них множества разнообразных факторов. Эти задачи имеют сходства с классом задач принятия решений, который отличается большим количеством исследований и наличием специализированной литературы, например [1-4]. Как правило, в таких задачах необходимо оценить предложенные альтернативы по определенному набору показателей, однако, если проводить параллели с классом задач оценки (например, классификации объектов в естественных науках, районирование территорий в науках о Земле, группировки населения в социологии и др.), имеются и некоторые различия, профильных исследований по которым существенно меньше. Так в процессе решения ряда задач таких как эколого-географическая оценка территорий и акваторий [5-7], представ-

ляется достаточно нетривиальной проблемой выразить некоторые параметры окружающей среды в количественном виде, но не менее трудной задачей может стать приведение найденных значений к некому интегральному виду, на основании которого можно делать выводы о значимости рассматриваемых факторов в исследуемой задаче, что в свою очередь может сильно повлиять на ранжирование самих природных объектов по их значимости.

В целом, в истории науки известно много случаев, когда практическое применение, как казалось, хорошо обоснованных методов приводило к совершенно неожиданным результатам, заставляя тем самым пересматривать положенные в их основу теории, или, как минимум, алгоритмы. Такие же случаи имели и имеют место быть при трансляции апробированных методов, алгоритмов и моделей к новым паттернам или, проще говоря, объектам [8].

Автору также пришлось столкнуться с подобной ситуацией при применении одного из группы методов принятия решений – метода

аналитических сетей, разработанного коллективом американских ученых под руководством Томаса Саати [9, 10] для задач многокритериального оценивания – в геоэкологии.

Одним из наиболее популярных способов получения количественных оценок влияющих факторов из упомянутой выше группы методов принятия решений является метод анализа иерархий (МАИ), суть которого заключается в последовательном попарном сравнении факторов по специальной шкале отношений. Он позволяет лицу принимающему решение (ЛПР) формализовать объект или задачу в виде иерархии, сравнить и выполнить количественную оценку факторов. Однако в МАИ факторы считаются условно независимыми друг от друга, и экспертам бывает трудно учесть влияние одного фактора на другой в своих суждениях: попарное сравнение факторов не позволяет этого сделать в явном виде. Чтобы устранить этот недостаток, на его основе под руководством Саати [10] был создан более сложный комплексный метод аналитических сетей, предполагающий построение классификационной модели в виде ориентированного графа, названного им сетью, исходя из типа и смысла задачи, либо из преследуемой цели. Метод аналитических сетей позволяет предусматривать внутренние, внешние, опосредованные и обратные связи, а также вводить в модель связи между группами факторов. Полученные связи и факторы образуют сеть влияния. В этом типе сети прослеживается, какой фактор в системе является влияющим и на что именно он влияет.

Аналитическая сеть строится на основе схожих принципов с добавлением нескольких отличий, дающих некоторую гибкость при проектировании такого вида сетей: в ней имеются родительские и дочерние узлы-факторы. Стрелками указывают направление от родительских к дочерним узлам. За ЛПР при проектировании остается возможность решить, какую роль будет играть направление стрелок – узел-родитель влияет на узел-ребенка или наоборот.

Если у одного родителя есть несколько детей, то образуется парное сравнение – специальная процедура, позволяющая оценить влияние того или иного фактора на третий. Для каждого парного сравнения формируется свой вопрос, который задается эксперту. Как правило, вопрос, задающийся при парных сравнениях, приводится к виду: «Какой фактор из дан-

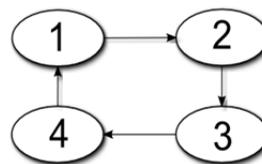


Рис. 1. Цикл

ных сильнее влияет по отношению к общему критерию (фактору или цели) и насколько?».

Результаты такого сравнения заносятся в специальные таблицы называемые матрицами парных сравнений и затем обрабатываются с помощью соответствующих математических методик. Веса в аналитической сети распределяются между дочерними узлами в зависимости от сравнения, для каждого узла присваивается свое значение, которое в сумме с остальными дает единицу. Родитель же, обычно называемый общим критерием, не получает значения приоритета (в дальнейшем будем называть это значение просто приоритетом). Приоритетом должен обладать каждый узел в аналитической сети. Процессы, происходящие в сети, когда приоритет уходит от узла-родителя к узлам-детям, будем называть перетеканием приоритета. Из таблиц парных сравнений складывают общую матрицу, называемую суперматрицей. Возведение в n -ную степень обычно приводит ее к устойчивому виду, называемому предельной формой, когда в столбцах появляются значения приоритета каждого фактора.

Несмотря на степень проработанности, МАС все же имеет ряд методических недостатков, один из которых связан с появлением в сети циклически связанных узлов, кратко называемыми циклами (Рис. 1).

Появление циклов приводит к явлению в аналитической сети, называемому «обнулением» итоговых значений приоритетов, возникающих в некоторых случаях. Термин «обнуление» актуален при расчете приоритетов факторов в сетях с помощью ПО SuperDecisions. При ручном подсчете у тех же факторов получаются бесконечно малые значения, по сути, являющиеся нулями, и они, по утверждению автора метода Т. Саати, могут быть не представлены в конечном результате [10, с. 93, 94], что в ряде случаев оказывается неприемлемо при работе с весовыми коэффициентами, которые по определению должны быть больше нуля.

При возникновении обнулений ЛПР лишается возможности сравнить весовые коэффициенты факторов между собой, потому как один или несколько весовых коэффициентов обнуляются, а оставшийся приоритет перераспределяется между остальными, так как сумма весовых коэффициентов в группе должна быть равна 1. Возникновение таких случаев может сильно уменьшить репрезентативность полученных результатов.

Рассмотрим абстрактные примеры сетей, содержащих циклы и синтезирующих нулевые приоритеты. На Рис. 2, а представлена аналитическая сеть с циклом и двумя узлами, которые «впадают» в цикл. Овалами обозначены узлы сети, а числа в них – итоговые приоритеты. Все приоритеты нормированы относительно значений приоритетов узлов по всей сети. Выделенный серым цветом узел должен иметь ненулевой вес в сети из-за наличия соседнего узла-истока, однако в данном случае вследствие особенностей расчета перетеканий его значение приоритета будет обнулено.

Выделенные серым цветом прямоугольники с градиентом на Рис. 2, б содержат результаты парных сравнений – 0,2 и 0,8. В результате влияния общего критерия узел, обозначенный серым цветом, также должен иметь вес в сети, чего не происходит, даже учитывая, что при парном сравнении он имеет больший приоритет.

Такое обнуление будет происходить в результате перетекания приоритетов в цикле, что отражается в поиске предельной суперматрицы сети. В обычных ситуациях, при поиске предельной формы суперматрицы (возведении ее в степень) должна проявляться стабильная форма, при которой суперматрица не изменяется. Однако при появлении в графе сети путей, в которых располагается от трех узлов и больше, могут возникнуть заикливания в расчетах, выражающиеся в том, что несколько форм суперматрицы будут последовательно повторяться. В таких случаях, для поиска приоритетов используется математический прием «чезарово среднее» [10]. Иногда также требуется перенормировка в колонках форм суперматрицы.

Однако в случае с циклами таких форм может оказаться бесконечно много и ряд из форм может не сойтись. В таких случаях расчет вручную будет просто невозможен, а машинный алгоритм будет выдавать неадекватные результаты с обнулением коэффициентов некото-

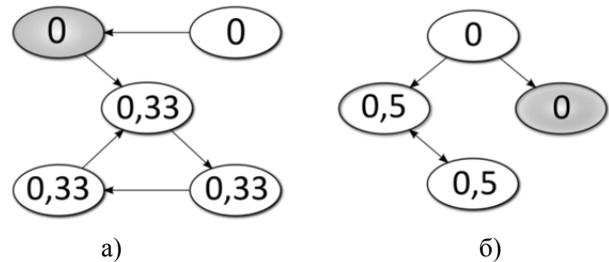


Рис. 2. Примеры результатов расчета сетей с циклами

рых факторов. Важно понимать, что весовой коэффициент фактора может существенно изменяться в процессе вычислений – он даже может становиться очень малым или большим, изменяться в десятки раз, но по определению должен быть больше нуля и не может превышать единицу.

Стоит отметить, что в программном обеспечении SuperDecisions, разработанным при участии автора метода аналитических сетей, реализованы несколько алгоритмов для таких случаев, основанных на разных подходах к обработке сетей, подробнее о которых пишет один из разработчиков Билл Адамс (Bill Adams) [8]. Помимо этих алгоритмов существуют также официальные рекомендации, заключающиеся в добавлении обратной связи на обнуляемый элемент или включении его в какой-либо внешний цикл. Однако любое, даже единственное, как искусственное добавление, так и исключение связи, влияет на формализацию задачи и приводит к искажению конечного результата вследствие перераспределения значений весовых коэффициентов.

Для того чтобы разобраться, где и при каких условиях происходит обнуления, обратимся к *классификации аналитических сетей*, представленной в монографии Саати [10, с. 93, 94] и рассмотрим ее более подробно. Отправной точкой классификации сетей служит утверждение Саати о том, что сеть образуется из иерархии посредством добавления внешних и внутренних связей между элементами.

Различают иерархическую структуру и холярхию. Для иерархической структуры характерно расширение модели классической иерархии, использующейся в методе анализа иерархий, посредством добавления обратной связи в группе элементов нижнего уровня иерархии. Таким образом, каждый элемент нижнего уровня должен зависеть от себя само-

го. Верхний уровень иерархии всегда представляет собой цель. Холархия отличается тем, что верхний уровень иерархии зависит от нижнего. Также выделяют специальные виды иерархий (Рис. 3), модифицированные в системы с обратной связью:

1. Супархия – подвид иерархической структуры, имеющий взаимную обратную связь между двумя верхними элементами иерархии.

2. Интархия – иерархическая структура, где взаимная обратная связь может быть между двумя последовательными произвольными элементами. Супархия может являться частным случаем интархии, если взаимная связь располагается между верхними уровнями.

3. Синтархия – иерархия с взаимной обратной связью между двумя нижними уровнями.

4. Иерархическая сеть – комбинированный вариант из супархии, интархии и синтархии. Сюда относятся сети с большим числом элементов, которые однозначно нельзя причислить ни к одной группе вышеперечисленных. К сожалению, такая классификация не указывает на признаки сетей с потенциально возможными обнулениями весовых коэффициентов. Для того чтобы разрешить эту проблему, отметим, что концепция сетей была создана на основе терминов из теории графов [9] – сети подразделяются на сильно (полностью) связанные и слабо (не полностью) связанные. Такое же разделение есть у ориентированных графов, коими аналитические сети, несомненно, и являются. Так как на наличие обнулений в конечном результате напрямую влияет структура сети, виды связей и вид графа, то условно можно выделить три вида сетей.

Во-первых, это сети-иерархии, относящиеся к слабосвязанным сетям. Такие сети характеризуются отсутствием циклов и, как правило, имеют в своем составе всевозможные виды узлов.

Во-вторых, сети в виде сильносвязанного графа, имеющие в основе цикл, состоящие более чем из двух элементов. В общем случае, цикл в такой сети представляет собой обособленную подсистему, с которой взаимодействуют другие подсистемы или компоненты, в том числе другие циклы. Также стоит отметить, что компоненты или подсистемы могут быть частью друг друга. Следует также учитывать, что в некоторых случаях узлы-родители вне циклов и подсистем могут обнуляться.

В-третьих, сети, основным структурным элементом которых являются обоюдные взаимные

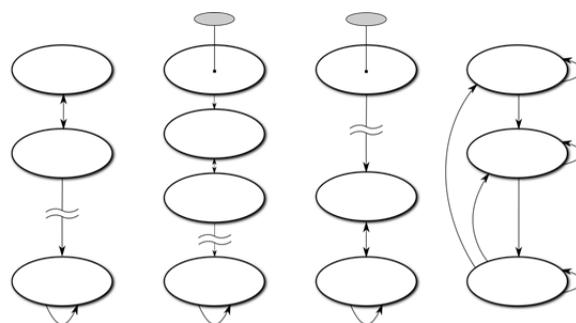


Рис. 3. Супархия, интархия, синтархия и иерархическая сеть

связи. В таких сетях также могут присутствовать циклы из более чем двух узлов, что делает этот вариант похожим на предыдущий. Не исключены и обычные связи, которые, как правило, тоже будут составлять цикл. Так же как и в предыдущем пункте, некоторые узлы-родители могут вне циклов обнулить свое значение приоритета. Такие сети чаще всего встречаются в экономических задачах, например, задача о поиске экономических выгод ресторанов быстрого питания у Саати [10, с. 157-167].

Следует отметить, что суперматрицы всех трех видов сетей при правильном подходе проектировщиков будут иметь предельную форму без обнулений. Однако правильно спроектировать сеть в некоторых случаях бывает затруднительно ввиду малой изученности или недостаточности данных о системе, отдельных факторах или других возможных структурных элементах сети.

Для ЛПР имеет смысл проектировать сеть таким образом, чтобы ее структура соответствовала одному из видов, представленных в классификации, иначе велик риск при расчетах получить обнуление одного или нескольких весовых коэффициентов.

В связи с этим, особое внимание хочется уделить примерам «простых» сетей («простые» сети противопоставляются более сложным составным сетям, построенным в рамках концепции BOCR, рассмотрение которой выходит за рамки данной статьи), описанных в монографии Томаса Саати и приведенных читателям в качестве примеров решения каких-либо задач.

Помимо задач, решение которых представлено классической иерархией, в работе [10] представлены также и аналитические сети для задач прогнозирования даты наступления благоприятных изменений в экономике США

[10, с. 145-157] и двух задачах о поиске экономических выгод ресторанов быстрого питания [10, с. 157-167]. Задачи обладают ярко выраженным финансово-экономическим уклоном и имеют соответствующий набор факторов в экономической, финансовой и управленческой сфере. Все сети, построенные для этих задач, являются сильно связанными, в чем легко можно убедиться, изучив примеры сетей для соответствующих задач в специализированном ПО SuperDecisions, с которыми оно поставляется (вкладка Help → Sample Models).

Особое внимание нужно уделить задаче «Determining Market Share of Walmart, Kmart and Target» – задаче о поиске показателей, определяющих долю рынка нескольких магазинов, выполненную студентом Томаса Саати Керри Уиллом (Kerri Will). Этот пример примечателен тем, что целый кластер синтезированной стандартными методами сети дает нулевые показатели приоритета, что, однако не влияет на конечный результат – оценочные показатели доли рынка для каждого магазина являются ненулевыми.

В области естественных наук, как уже говорилось, напротив, множество задач, требующих комплексной оценки, содержат такие критерии оценки, формализовать которые за-

труднительно или тяжело по причине их недостаточной изученности или вовсе невозможно, в связи с чем *создание сильно связанной сети представляется достаточно сложной задачей.*

Вследствие этого группой авторов был предложен метод [12] на основе концепции аналитических сетей и балльных классификаций [13]. Методическое отличие заключается в том, что перетекания приоритета в сетях реализованы посредством вспомогательных показателей, вычисляемых на вероятностной основе, исходя из распределения весовых коэффициентов в рассматриваемой модели. Для такого подхода не имеет значения тип графа, наличие циклов и виды связей. Обнуления весовых коэффициентов в методе принципиально невозможны, потому как процедуры, которые могут привести к их появлению, отсутствуют. Конкретный алгоритм представлен в статье [12].

Были опубликованы исследования задачи оценки нагрузки транспортной инфраструктуры на окружающую среду Архангельской области, по результатам которого было выполнено районирование ее территории [14-16]. Полученные результаты позволили уточнить границы районов, имеющих принципиальное значение для исследований нагрузки транспортной инфраструктуры на экосистему Белого моря (Рис. 4).

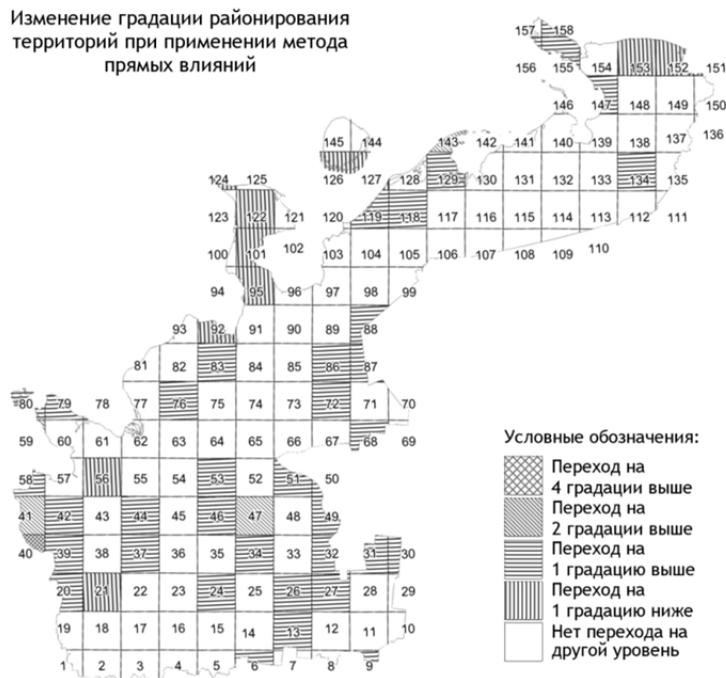


Рис. 4. Перераспределение границ территорий Архангельской области, принадлежащих разным градациям нагрузки транспортной инфраструктуры

Результаты такого исследования могут быть использованы для разработки рекомендаций по рациональному природопользованию, а также служить основой для принятия тактических и стратегических решений по развитию транспортной инфраструктуры на исследуемых территориях органами отраслевого, местного и регионального управления [14].

Автор считает, что подобный подход будет востребован для задач, результатом решения которых является слабосвязанная сеть, в противовес методу аналитических сетей.

Заключение

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы.

1. Метод аналитических сетей *не является универсальным решением* для всех задач многокритериального оценивания. Он хорошо подходит лишь для тех задач, где большую часть связей между факторами можно формализовать и получить в результате сильносвязанную сеть, что убедительно показано в примерах, приведенных в монографии [10].

2. Подходы, созданные на вероятностной оценке факторов в задачах многокритериального оценивания со слабосвязанной сетью, показали свое преимущество перед методом аналитических сетей. Использование такого подхода, как минимум, сохранит выполнение условий транзитивности сравниваемых факторов и обеспечит отсутствие обнулений весовых коэффициентов.

Литература

1. Петровский А. Б. Теория принятия решений: уч. для студ. высш. учеб. заведений / А.Б. Петровский // М.: Академия, 2009. – 400 с.
2. Злобина, Н.В. Управленческие решения: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 80 с.
3. Гельруд Я.Д. Методы принятия решений: Учебно-методический комплекс. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. – 88 с.

Середкин Константин Анатольевич. Младший научный сотрудник ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН» (Северо-Западное отделение). Количество печатных работ: 6. E-mail: log23@rambler.ru

4. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения: Пер. с англ. Под ред. И. Ф. Шахнова. – М.: Радио и связь, 1981. — 560 с.
5. Коробов В.Б. Экспертные методы в географии и геоэкологии: монография. – Архангельск: Поморский государственный университет, 2008. – 236 с.
6. Губайдуллин М.Г., Коробов В.Б. Экспертная интегральная оценка экологического состояния геологической среды. – Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология, 2005, № 3. – с. 244-252.
7. Фащук Д.Я., Сапожников В.В. Антропогенная нагрузка на геосистему море-водосбор и ее последствия для рыбного хозяйства (методы диагноза и прогноза на примере Черного моря). – М.: ВНИРО, 1999. – 124 с.
8. Стёпин В.С. Теоретическое знание. – М.: Прогресс-Традиция, 1999. – 390 с.
9. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
10. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети. Пер с англ. М., 2009. – 360 с. (Saaty, Thomas Lorie. Decision making with dependence and feedback: The analytic network process. Pittsburgh: RWS publications, 1996.).
11. Adams Bill SuperDecisions Limit Matrix Calculations [Электронный ресурс]. URL: http://isahp.lascomedia.com/dati/pdf/4_0164_Adams.pdf (дата обращения: 25.02.2017).
12. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г., Серёдкин К.А. Метод прямого расчета весовых коэффициентов влияющих факторов в аналитических сетях // Проблемы региональной экологии. № 3, 2013. – С. 40–45.
13. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г. Классификационные методы решения эколого-экономических задач: моногр. Поморский государственный университет М.В. Ломоносова. – Архангельск: Поморский университет, 2010. – 309 с.
14. Серёдкин К.А., Долгощёлова М.И., Коробов В.Б. Сравнение методов экспертного оценивания факторов на примере эколого-географической оценки влияния транспортной инфраструктуры на окружающую среду Архангельской области // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Естественные науки». №4, 2014. – С. 43–52.
15. Коробов В.Б., Середкин К.А. Применение экспертных сетей для экологического районирования Белого моря // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. № 3. – С. 81-87.
16. Середкин К.А., Коробов В.Б., Тутыгин А.Г. О применении метода аналитических сетей в задачах геоэкологии // Проблемы региональной экологии. 2012. № 4 – С. 61-65.

About the limits of applicability of the analytical network process in the decision-making problems in the natural sciences

K.A. Seredkin

P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The article reviews the concept, features, some of the key points and drawbacks of the analytical network process (ANP) for decision-making problems. It examines one of the key issues of the ANP – the problem of cycles and methods of its decision which are based on the experimental data. On the basis of these ones is formed the author's view of the networks classification. It is inferred about the applicability of ANP for different types of networks for solution of scientific and some other kinds of applied tasks. For datasets that are unsuitable for processing by ANP is offered a different path, which consists in using the method of direct influences, developed by a group of scientists with participation of the author on the basis of the analytical networks concept as ANP alternatives. The offered path is also used for tasks that do not fall within the scope of ANP.

Keywords: System analysis, analytical networks, network approach, analytic network process, ANP, T. Saati, method of direct influence.

DOI 10.14357/20718594180208

References

1. Petrovskiy A. B. Teoria priniatia resheniy [Decision making theory] // Moscow: Izdatelskiy center "Academya" ["Academy" publishing] – 2009. – 400 p.
2. Zlobina N.V. Upravlencheskie reshenia: uchebnoe posobie [Management solutions: a tutorial] – Tambov: Izdatelstvo Tambovskogo gos. tech. univ. [Tambov Government University Publishing], 2007. – 80 p.
3. Gel'rud Y.D. Metodi priniatia reshenii. Uchebno-metodicheskii kompleks [Decision making methods. Training and metodologiy complex] – Chelyabinsk: UURGU Publishing, 2005. – 88 p.
4. R. L. Kini, H. Raifa. Priniatie reshenii pri mnogih kriteriyah: predpochtenia i zameschenia [Decision-making in multi-criteria: preferences and substitution, (in Russian)]. Moscow: Radio I Sviaz, 1981. – 560 p.
5. Korobov V.B. Ekspertnie metodi v geografii i geoecologii [Expert Methods in Geography and Geoecology]: monograph. Arkhangel'sk, Pomor State University, 2008. – 236 p.
6. Gubaidullin M.G., Korobov V.B. Ekspertnaya integralnaya otsenka ekologicheskogo sostoyania geologicheskoy sredi [Expert integrated estimation of ecological condition of the geological environment]. – Geoecologia. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologia. Geocriologia [Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology], 2005, № 3, p. 244-252.
7. Faschuk D.Y., Sapozhnikov V.V. Antropogennaya nagruzka na sistemu "more-vodosbor" i eyo posledstviya dlya ribnogo khoziaystva (metodi diagnoza i prognoza na primere Chernogo moria) [Anthropogenic pressure on geosystem "sea-watershed" and its implications for fisheries (methods of diagnosis and prognosis on the example of the Black Sea)]. – Moscow.: VNIRO, 1999. – 124 p.
8. Styopin V.S. Teoreticheskoe znanie [Theoretical knowledge]. – Moscow.: Izdatelstvo Progress-Tradicia [Progress-Tradition publishing], 1999. – 390 p.
9. Saati T., K. P. Kearns Analiticheskoye planirovanie [Analytical Planning]. – Moscow.: Radio I Sviaz' [Radio and communication], 1991. – 224 p.
10. Saaty, Thomas Lorie. Decision making with dependence and feedback: The analytic network process. Pittsburgh: RWS publications, 1996.
11. Adams Bill SuperDecisions Limit Matrix Calculations Available at: http://isahp.lascomedia.com/dati/pdf/4_0164_Adams.pdf (accessed: February 25, 2017).
12. Korobov V.B., Tutigin A.G., Seredkin K.A. Metod priamogo rastchota vrsovih koefficientov vlijautshih faktorov v analiticheskikh setiah [The method of direct calculation of influencing factors' weight coefficients in analytical networks] // Problemi regional'noi ekologii [The problems of regional ecology]. № 3. 2013. – p. 40–45.
13. Korobov V.B., Tutigin A.G. Klassifikacionnie metodi reshenia ekologo-ekonomicheskikh zadach [Classification methods for solving environmental and economic problems]: monograph. Arkhangel'sk, Pomor State University, 2010. – 309 p.
14. Seredkin K.A., Dolgoschelova M.I., Korobov V.B. Svrnenie metodov ekspertnoi ocenki faktorov na primere ekologo-geograficheskoi ocenki vlijania transportnoi infrastrukturi na okruzhaushiu sredu Arkhangel'skoi oblasti [Comparison of methods of expert estimation of factors as an example the eco-geographical assessment of the impact of transport infrastructure on the environment of the Arkhangel'sk oblast] // Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) Federal'nogo Universiteta [Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. "Natural sciences" series]. №4. 2014. – p. 43–52.
15. Korobov V.B., Seredkin K.A. Primenenie ekspertih setei dlya ekologicheskogo raionirovania Belogo Moria [The applying of expert networks for ecological zoning of the White Sea] // Izvestia Rossiiskoi Akademii Nauk. Seria Geograficheskaya [Russian Academy of Sciences. Geographical Series]. 2016. № 3. – p. 81-87.

16. Seredkin K.A., Korobov V.B., Tutigin A.G. Primenenie metoda anatyicheskikh setei v zadachah geoecologii [The application of the analytical networks process in geoecological tasks] / K.A. Seredkin // Problemi regional'noi ecologii [The problems of regional ecology]. – 2012. – № 4 – p. 61-65.

Seredkin Konstantin Anatol'evich. Junior Research Scientist in Oceanology named after P.P. Shirshov, 36, Nahimovskiy prospekt, Moscow, Russia, 117997. Working in North-West branch of Institute (163013, Russia, Arkhangelsk, Maimaksanskoie Shosse, 1 bldg. 1). Amount of published works: 6. E-mail: log23@rambler.ru