

**ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ НА ГЕОЭКОЛОГИЮ РЕГИОНА:
ПОСТАНОВКА И ПУТИ РЕШЕНИЯ**

Массель Людмила Васильевна

Д.т.н., профессор, главный научный сотрудник,
зав. лабораторией «Информационные технологии»,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130, e-mail: massel@isem.irk.ru

Аннотация. В статье формулируются постановка и предлагаемые подходы к решению проблемы влияния энергетики на геоэкологию региона. Работа выполняется в рамках Международного проекта совместно с исследователями Беларуси и Армении при поддержке фондов ЕАПИ-РФФИ. В статье рассматриваются преимущественно вопросы, связанные с реализацией информационно-технологической части Российского проекта. Определены актуальность, цель и задачи проекта, предлагаемые методы и подходы для решения проблемы. Приведены онтология влияния энергетики на окружающую среду и онтология загрязняющих веществ от объектов теплоэнергетики, а также архитектура Web-ориентированной информационной системы (WIS), которая будет завершающим результатом проекта.

Ключевые слова. Геоэкология, математическое моделирование, семантическое (онтологическое и когнитивное) моделирование, геоинформационные технологии, Web-ориентированная информационная система, база данных, база знаний.

Цитирование: Массель Л.В. Проблема оценки влияния энергетики на геоэкологию региона: постановка и пути решения // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. №2 (10). С. 5–21. DOI:10.25729/2413-0133-2018-2-01

Введение. Исследования оценки влияния энергетики на геоэкологию региона ведутся в рамках международного проекта, при поддержке фондов ЕАПИ¹-РФФИ, совместно с коллективами ученых Беларуси и Армении. В статье рассматриваются основные положения и результаты проекта, выполняемого Российской стороной². Фундаментальная научная проблема, на решение которой направлен Проект, заключается в разработке методов и геоинформационных технологий для оценки влияния энергетики на геоэкологию региона. Объектом исследований с Российской стороны является Байкальская природная территория, по размерам сопоставимая с Беларусью и Арменией. Предлагаемая статья посвящена преимущественно вопросам разработки и интеграции современных информационных технологий для решения поставленной проблемы; методы оценки выбросов загрязняющих веществ от энергетических объектов и модели распространения загрязнений, вызванных

¹ ЕАПИ - Евразийская Ассоциация поддержки научных исследований, учрежденная в июле 2016 г. по инициативе РФФИ совместно с партнерскими организациями Белоруссии, Армении, Киргизии и Монголии.

² Международный проект «Методы и технологии оценки влияния энергетики на геоэкологию региона» выполняется, с Российской стороны, при поддержке гранта РФФИ № 18-57-81001, под руководством Л.В. Массель.

выбросами от энергетических объектов, будут рассмотрены в последующих статьях в соавторстве с исполнителями проекта.

Для реализации проекта разрабатывается Web-ориентированная информационная система (WIS), интегрирующая математические и семантические методы и инструментальные средства оценки влияния энергетики на геоэкологию региона, базу данных, базу знаний и геоинформационную систему. Предполагается при ее реализации использовать наработки авторов проекта, выполненные ранее для исследований проблем энергетической безопасности: инструментальные средства семантического моделирования, Геокомпонент, средства работы с базой знаний и Репозитарий. Отдельные компоненты WIS будут реализованы в виде агентов-сервисов. При реализации интерфейса пользователя предлагается применить ситуационное исчисление и компоненты языка ситуационного управления CML: подсистему описания знаний и подсистему манипулирования знаниями. В статье представлены онтология влияния энергетики на окружающую среду, онтология загрязняющих веществ и архитектура WIS.

1. Актуальность проекта. Термин “геоэкология” ввёл немецкий географ Карл Тролль в 1930-х годах, понимая под ней географическую, то есть ландшафтную экологию. С тех пор этот термин существенно видоизменился, но до сих пор нет его однозначной трактовки. Предлагается, как основное, следующее определение: «Геоэкология - междисциплинарное научное направление, объединяющее исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов». В некоторых случаях геоэкологию определяют, как комплексную прикладную дисциплину, которая отличается от биологических и соответствует географическим или геологическим дисциплинам. Эти определения не противоречат определениям, данным в [1, 2]. Основной задачей геоэкологии является изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек под влиянием природных и антропогенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды. Цель данного проекта вписывается в основную задачу геоэкологии. Актуальность проекта определяется, с одной стороны, важностью проблемы оценки влияния энергетики на геоэкологию региона, а с другой, ее недостаточной исследованностью и необходимостью привлечения для ее решения современных геоинформационных и интеллектуальных технологий.

2. Цель и задачи проекта. Цель проекта – разработка методов и технологий для оценки влияния энергетики на геоэкологию региона. В ходе выполнения проекта были уточнены и расширены формулировки основных конкретных задач, которые предлагается решить в проекте:

2.1. Провести анализ существующих методов оценки выбросов загрязняющих веществ от энергетических объектов и существующих моделей распространения загрязнений, вызванных выбросами от энергетических объектов (с учетом розы ветров, дальнего переноса и т.д.).

2.2. Осуществить выбор и обосновать рекомендуемые для использования в проекте методы, их модификацию и адаптацию, разработку, при необходимости, оригинальных методов.

2.3. Определить критически важные объекты, влияющие на жизнеобеспечение и природную среду региона (в энергетическом, водообеспечивающем и др. секторах), связь критически важных объектов с качеством жизни населения.

2.4. Провести анализ подходов к построению геоинформационных систем на основе 3D-геовизуализации и видов визуальной аналитики для выбранной предметной области; выполнить проектирование геоинформационной системы на основе 3D-геовизуализации, определить типы интерфейсов для отображения и анализа информации.

2.5. Определить состав информации, необходимой для использования рекомендуемых методов, определить источники информации, оценить их доступность и финансовые затраты на приобретение информации; сбор и структурирование необходимой информации; спроектировать и реализовать базу данных.

2.6. Разработать архитектуру Web-ориентированной информационной системы (WIS), интегрирующей математические и сематические методы и инструментальные средства оценки влияния энергетики на геоэкологию региона: базу данных, базу знаний и геоинформационную систему; разработать структуру базы знаний в составе WIS.

2.7. Разработать систему онтологий для описания предметной области, выполнить адаптацию и развитие инструментальных средств семантического моделирования, построить семантические модели для оценки влияния энергетики на геоэкологию региона.

2.8. Выполнить апробацию WIS и применить разработанные методы и технологии для поддержки принятия решений по обоснованию и выработке рекомендаций по развитию энергетики с учетом требований геоэкологии.

3. Современное состояние исследований в этой области.

3.1. Влияние энергетики на окружающую среду. В последние годы проблема влияния энергетики на окружающую среду получила широкое распространение в научном мире. Различные ученые пытаются исследовать негативные последствия функционирования энергетических предприятий для геоэкологии и определить зоны вредного влияния. Согласно Воробьеву В.И., анализ существующих принципов проектирования и развития крупных тепловых энергетических предприятий (ТЭП), а также оптимизационных моделей, описанных разными авторами, показывает, что они не учитывают действительных последствий от загрязнения воздушной среды, так как не рассматривается конкретное размещение в районе населенных пунктов (особенно на застроенных территориях), попадающих в зону загрязнения. В результате натурного инструментального обследования городской территории Воробьевым В.И. были определены концентрации вредных примесей на различных расстояниях от источника загрязнения - территории ТЭП, санитарно-защитной зоне, жилой застройке, подтверждающие превышение предельно допустимой концентрации на расстоянии до 18 км. Арсланбекова Ф.Ф., исследовавшая повреждающее воздействие на окружающую среду тепловых электростанций (ТЭС) и автотранспорта, считает, что зона наиболее интенсивного загрязнения атмосферного воздуха вредными примесями под факелами ТЭС достигает радиуса 3-5 км. Образование повышенной приземной концентрации вредных примесей в выбросах теплоэлектростанций зависит от сезона года и метеорологических условий. В жаркое время года уровень потенциала загрязнения в исследуемых районах имеет тенденцию к росту, что объясняется наибольшей повторяемостью застойных ситуаций и штилей, высокими температурами воздуха, частыми инверсиями в ночные и утренние часы. Никиенко Ю.В. исследовала основные моменты влияния теплового загрязнения на микроклимат прилегающих территорий. На основании проведенных расчетов она делает вывод, что наличие водоема-охладителя в районе размещения АЭС и ТЭС неизбежно приведет к негативным экологическим последствиям, к

числу которых можно отнести максимальные аномалии температуры, осадков и относительной важности. Кожанов А.А. предлагает методики геоэкологической оценки влияния топливно-энергетической системы, основанные на установлении взаимосвязи между природными условиями и техногенным воздействием.

3.2. Критические инфраструктуры. Исследования критических инфраструктур являются достаточно молодым направлением, но становятся приоритетными во многих странах мира, и в первую очередь в США [10]. К критическим инфраструктурам относят энергетику, транспорт, службы по чрезвычайным ситуациям, банковский и финансовый, информационно-телекоммуникационный и другие жизненно важные сектора экономики. Энергетика и инфокоммуникационные технологии относятся к базовым секторам национальной критической инфраструктуры.

В исследованиях критических инфраструктур большое внимание уделяется выявлению ключевых объектов (или их совокупности), воздействие на которые может оказать существенный негативный эффект на отрасль экономики, ключевой ресурс или всю инфраструктуру, а также оценке последствий подобного воздействия и разработке механизмов снижения таких рисков. Под энергетической инфраструктурой, которую относят к критически важным инфраструктурам, понимают совокупность энергетических объектов и систем энергетики, включая энергетические транспортные магистрали.

В ИСЭМ СО РАН ведутся работы в области исследований энергетики как критической инфраструктуры (Л.В. Массель, С.М. Сендеров, А.В. Еделев, Н.И. Пяткова). В последнее время автором предложена идея использовать показатель «качество жизни» при выявлении критически важных объектов. Эту идею предполагается развить в рамках настоящего проекта.

3.3. Качество жизни. Категория «качество жизни» впервые была введена в научный оборот в 60-х годах прошлого столетия в связи с попытками моделирования зарубежными исследователями траекторий промышленного развития. Существует много различных определений качества жизни, но наиболее полно это понятие раскрыто в контексте здравоохранения. Согласно определению, принятому Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), качество жизни - это восприятие индивидами их положения в жизни в контексте культуры и системе ценностей, в которых они живут, в соответствии с целями, ожиданиями, нормами и заботами.

Качество жизни понимают, как совокупность объективных и субъективных параметров, характеризующих максимальное количество сторон жизни человека, его положение в обществе и удовлетворенность им. На рис. 1 приведена схема составляющих качества жизни согласно определению Всемирной организации здравоохранения [3]. Из рисунка видно, что качество жизни определяется не только финансовым благополучием, но еще учитывает состояние защищенности, здоровье, положение человека в обществе и, главное, его собственную оценку всех этих факторов. Интегральный показатель качества жизни обобщает показатели здоровья, социально-личностного благополучия и благосостояния. В рамках нашего проекта важно, что в показатели качества жизни включена экология.



Рис. 1. Качество жизни согласно определению ВОЗ

Под руководством автора выполнена работа, в которой обосновано, что получение интегрального показателя с помощью строгих математических методов затруднено. Предложено привлекать для этой цели методы искусственного интеллекта, а именно, когнитивное моделирование – одно из направлений семантического моделирования [21]. Кроме того, в интегральном показателе качества жизни до последнего времени не учитывалось влияние обеспеченности энергоресурсами, в то время как дефицит энергоресурсов может оказать существенное влияние, как на уровень, так и на качество жизни. Предложено включать в число индикаторов качества жизни внешние факторы, в частности, степень обеспеченности энергетическими ресурсами [17]. В последнее время в работах автора (например, в [16]), обсуждалась идея необходимости интеграции (конвергенции) исследований в области критических инфраструктур, качества жизни и безопасности, которую предлагается развить в этом проекте.

3.4. Технологии семантического моделирования наиболее активно обсуждаются в рамках Международных конференций OSTIS (Open Semantic Technologies for Intelligent Systems), которая регулярно проводится в Беларуси, членами программного комитета этой конференции являются ведущие российские и зарубежные ученые (Кузнецов О.П., Хорошевский В.Ф. [26], Гаврилова Т.А., Тарасов В.Б. и др.). На этих конференциях, как правило, широко представлены работы как белорусских и украинских, так и ведущих российских школ, в т.ч. Московская школа (Хорошевский В.Ф., Кузнецов О.П., Петровский А.Б., Тарасов В.Б. и др.), Санкт-Петербургская (Т.А. Гаврилова и др.), Самарская (Смирнов С.В., Боргест Н.М. и др.), Дальневосточная (Клещев А.С., Грибова В.В. и др.), Сибирские школы (Загорулько Ю.А., Массель Л.В. и др.).

3.4.1. Онтологическое моделирование является одной из ведущих семантических технологий. Вопросы онтологического моделирования рассматривались в работах Т. Грубера (Gruber T), Н. Гуарино (Guarino N.) и др., в нашей стране - Гавриловой Т.А., Загорулько Ю.А., Калиниченко Л.А., Коголовского М.Р., Серебрякова В.А., Тузовского В.Ф., Хорошевского В.Ф., Ямпольского В.З. и др. Известна посвященная этим вопросам конференция ЗОНТ (Знания-Онтологии-Теория), которая была основана Н.Г. Загоруйко и

регулярно (раз в два года) проводится в Новосибирске [6]. В работах коллектива, возглавляемого автором, начиная с 2013 г., обосновывается (и признано научным сообществом) отнесение к семантическим технологиям когнитивного, событийного и вероятностного (на основе Байесовских сетей доверия) моделирования, методы и средства которого активно разрабатываются участниками проекта под руководством автора [21].

3.4.2. Когнитивное моделирование. Под ним понимается построение когнитивных моделей, или, иначе, когнитивных карт (ориентированных графов), в которых вершины соответствуют факторам (концептам), а дуги – связям между факторами (положительным или отрицательным), в зависимости от характера причинно-следственного отношения. Математическим аппаратом для построения когнитивных моделей является теория графов. Основы когнитивного моделирования были разработаны в свое время Ван Хао (1956 г.), Р. Аксельродом (1976 г.), Д.А. Поспеловым (1981 г.). Это направление получило свое развитие в работах Э.А. Трахтенгерца [25], в настоящее время активно развивается в Институте проблем управления РАН (Абрамова Н.А., Кульба В.В., Кулинич А.А., Максимов В.И. и др.) для анализа влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями. Когнитивное моделирование активно применяется в ИСЭМ СО РАН [30], лидером этого направления является А.Г. Массель (см., например, [13]).

3.4.3. Визуальная аналитика и геоинформационные системы. Методы визуальной аналитики [27], разрабатываемые в коллективе, возглавляемом автором (например, [18, 29], базируются на ситуационной осведомленности [28], 3D-геовизуализации (за рубежом и в России часто используется термин «неогеография» [4]) и когнитивной графике [5]. В проекте это направление возглавляет Р.А. Иванов (например, [8, 9]).

В настоящее время в энергетике широко используют геоинформационные системы для разработки проектов. Эти системы позволяют вести учет численности, структуры и распределения населения и одновременно использовать эту информацию для планирования развития социальной инфраструктуры, транспортной, энергетической сети, оптимального размещения объектов здравоохранения, противопожарных отрядов и сил правопорядка и т.д. Появляются и исследования в области использования геоинформационных систем для оценки влияния объектов энергетической инфраструктуры на геоэкологию (например, Лаптенко С.А., Муждехи М., Бубнов В.П. изложили методику создания комбинированных пространственных моделей с применением технологии географических информационных систем для оценки воздействия на окружающую среду проектируемых, строящихся и действующих объектов энергетики), однако их немного, что свидетельствует о значительном потенциале в развитии данной области.

4. Предпосылки выполнения проекта. В Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (г. Иркутск) имеется опыт исследований в области энергетики и экологии, а также в области качества жизни с учетом энергетических факторов. У исполнителей проекта имеется большой практический опыт разработки баз данных, геоинформационных систем, систем интеллектуальной поддержки принятия решений, основанных на интеграции методов математического и семантического моделирования, а также опыт создания информационно-аналитического Интернет-ресурса в области исследований энергетики, основанный на использовании онтологий. Имеются научные прототипы инструментальных средств поддержки онтологического и когнитивного моделирования и 3D-геовизуализации. Авторами разработаны методология и научные

прототипы компонентов интеллектуальной системы семиотического типа для поддержки принятия стратегических решений в энергетике [15], которые могут быть применены в этом проекте. Выполнялись работы по обоснованию развития энергетической инфраструктуры центральной экологической зоны Байкальской природной территории, по обоснованию выбора маршрутов газопроводов с учетом геоэкологических факторов с применением 3D-геовизуализации; по 3D-визуализации уровня энергетической безопасности России и ее регионов [8, 9, 12]; по когнитивному моделированию угроз энергетической безопасности и интегрального показателя качества жизни [14, 17]. Имеется опыт совместной работы с международными участниками в рамках следующих проектов:

– интеграционный проект ИСЭМ СО РАН и ИЭ НАН Беларуси (2012-2014) №18: «Методы построения интеллектуальной инструментальной среды для поддержки принятия решений при определении стратегии развития энергетики России и Беларуси с позиций энергетической безопасности» (координатор от ИСЭМ СО РАН д.т.н. Массель Л.В., от ИЭ НАН Беларуси – ак. Михалевич А.А.) [23] ;

– совместный проект ИСЭМ СО РАН и ИЭ НАН Беларуси при поддержке грантов РФФИ и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (БРФФИ) для молодых ученых №15-07-04074 Бел_мол_а «Методы интеллектуальной поддержки принятия решений в энергетике России и Беларуси при реализации угроз энергетической безопасности» (2015-2016) - руководитель от ИСЭМ СО РАН к.т.н. А.Г. Массель [14].

Институт энергетики НАН Беларуси специализируется в области системных исследований в энергетике, надежности и устойчивости энергосистемы, энергоэффективности и энергобезопасности, управления режимами энергосистемы, экономики энергетики (см., например, [7]). Таким образом, сотрудники Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН и Института энергетики НАН Беларуси имеют практический опыт в разных областях знаний, что позволит успешно выполнить проект междисциплинарного характера.

5. Предлагаемые методы и подходы к решению проблемы. Как отмечалось во введении, методы оценки выбросов загрязняющих веществ от энергетических объектов и модели распространения загрязнений, вызванных выбросами от энергетических объектов, будут рассмотрены в последующих статьях в соавторстве с исполнителями проекта. В информационно-технологической части предлагаемый проект основывается на применении методов геоинформационных технологий на основе 3D-геовизуализации, методов исследований критических инфраструктур, методов поддержки принятия решений, методов инженерии знаний, методов объектного подхода (анализ, проектирование, программирование), методов системного и прикладного программирования, методов проектирования баз данных, информационных систем и экспертных систем, а также авторских методов ситуационного управления, семантического моделирования (в первую очередь онтологического и когнитивного) и интеллектуальных технологий его поддержки. Предполагаются развитие и адаптация к теме проекта авторских методов построения онтологического пространства знаний в области энергетики; методов семантического (онтологического и когнитивного) моделирования в энергетике, методов 3D-геовизуализации и методов визуальной аналитики с элементами когнитивной графики, а также методов разработки интеллектуальных систем семиотического типа для поддержки принятия стратегических решений в энергетике [15].

Как иллюстрация подхода к построению системы онтологий предметной области, на рис. 2 и 3 представлены онтология влияния энергетики на окружающую среду (рис. 2) и онтология загрязняющих веществ от объектов энергетики (рис. 3). Из рис. 2 видно, что предприятия энергетики (рассматриваются предприятия электроэнергетики, теплоэнергетики и добычи топливно-энергетических ресурсов (ТЭР)) могут загрязнять воду, воздух и почву (в первую очередь в проекте рассматривается цепочка, связанная с загрязнением воздуха – см. рис. 3). Негативное влияние на качество жизни человека может быть как прямым, так и опосредованным (через растительный и животный мир, т.е. через пищевую цепочку).

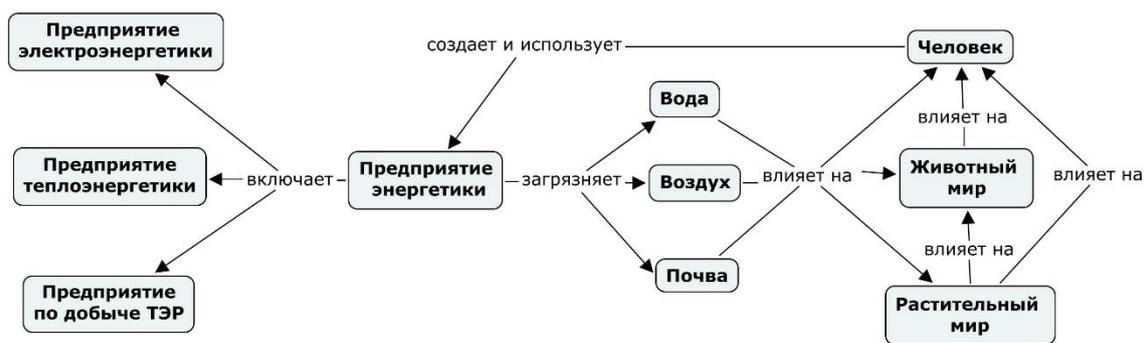


Рис. 2. Онтология влияния энергетики на окружающую среду

Онтология загрязняющих веществ от объектов энергетики (рис. 3) построена на основе материалов по типологизации выбросов, представленных участниками проекта Ивановой И.Ю. и Майсюк Е.П. На рис. 3 приведен только первый вариант онтологии, который скорее иллюстрирует способ структуризации знаний о предметной области. В последующем онтология может быть расширена либо использована как гибридная: некоторые ее понятия можно рассматривать как метаконцепты, которые будут детализированы развернутыми онтологиями: например, концепт «Очистка» может быть представлен онтологией, детализирующей способы и уровни очистки; концепт «Способ сжигания» может быть представлен расширенными онтологиями, описывающими разные способы сжигания для мелких и крупных котельных и ТЭС, и т.д.

Как упоминалось во введении, для реализации проекта предлагается разработка Web-ориентированной информационной системы (WIS), интегрирующей математические и семантические методы, инструментальные средства оценки влияния энергетики на геоэкологию региона, базу данных, базу знаний и геоинформационную систему. Предполагается при ее реализации использовать наработки авторов проекта, выполненные ранее для исследований проблем энергетической безопасности: инструментальные средства семантического моделирования, Геокомпонент, средства работы с базой знаний и Репозитарий. Отдельные компоненты WIS (Геокомпонент, инструментальные средства поддержки семантического моделирования, отдельные вычислительные модули, компоненты доступа к БД, могут быть реализованы в виде агентов-сервисов [20].

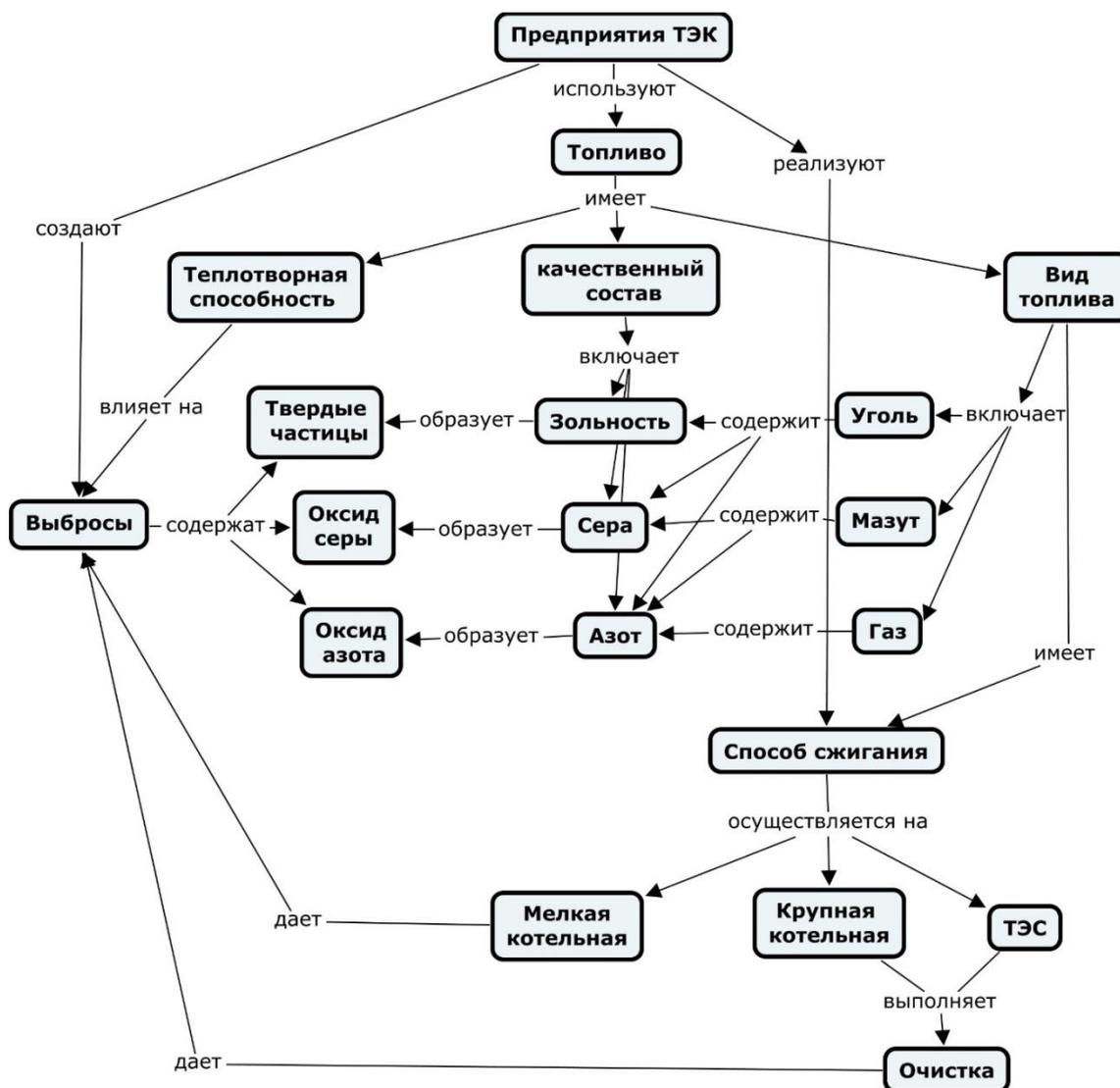


Рис. 3. Онтология загрязняющих веществ от объектов энергетики

Архитектура WIS представлена на рис. 4. В архитектуре выделяются четыре уровня: 1) уровень математических методов, моделей и программ, включающий разработанные на основе выбранных методов и моделей программы расчета объемов загрязняющих веществ и их влияния на качество жизни населения с учетом мощности энергетических объектов (обеспеченность энергоресурсами) и заселенности (плотности населения) на рассматриваемой территории; 2) уровень семантического моделирования, включающий семантические (в первую очередь когнитивные) модели для описания взаимосвязи факторов, определяющих качество жизни, с учетом антропогенных факторов: обеспеченность энергоресурсами и влияние загрязняющих веществ от предприятий энергетики на экологию; 3) уровень представления знаний – объединяет базу знаний, хранящую описания знаний для построения семантических моделей, и систему онтологий для описания знаний предметной области; последняя может использоваться как при построении базы знаний, так и при проектировании базы данных; 4) уровень представления данных – интегрирует геоинформационную систему (ГИС) и базу данных, включающую, в том числе, географические координаты объектов энергетики. ГИС может использоваться как для иллюстрации результатов расчетов, так и для наглядной интерпретации семантических моделей.



Рис. 4. Архитектура Web-ориентированной информационной системы (WIS) для оценки влияния энергетики на геоэкологию региона.

Метаописания информации, представленной на всех четырех уровнях, хранятся в Репозитории (его научный прототип и средства работы с ним разработаны соисполнителем проекта Копайгородским А.Н.) [11]. При реализации интерфейса пользователя предполагается применить ситуационное исчисление [24, 22] и компоненты языка ситуационного управления CML [19]. Метаонтология CML представлена на рис. 5.

CML включает две подсистемы: подсистему описания знаний и подсистему управления знаниями. Состав отношений в первой подсистеме может быть ограничен или изменен, в соответствии с задачами проекта. Вторая подсистема обеспечивает вызов инструментальных средств (в т.ч. ГИС и расчетных программ).

Заключение. В статье рассмотрен Международный проект, выполняемый под руководством автора статьи при поддержке фондов ЕАПИ-РФФИ. Сформулирована постановка проблемы (фундаментальная научная задача и цель проекта), определены актуальность и ожидаемые результаты проекта. Обосновываются предпосылки успешного выполнения проекта, предлагаемые методы и подходы к его выполнению. Основное внимание в статье уделено информационно-технологической части проекта, выполняемой Российской стороной. Приведены иллюстрации предлагаемых подходов: онтология влияния энергетики на окружающую среду и онтология загрязняющих веществ от объектов энергетики, а также разработанная архитектура Web-ориентированной информационной системы (WIS), которая, вместе с технологией ее использования, будет завершающим результатом проекта.

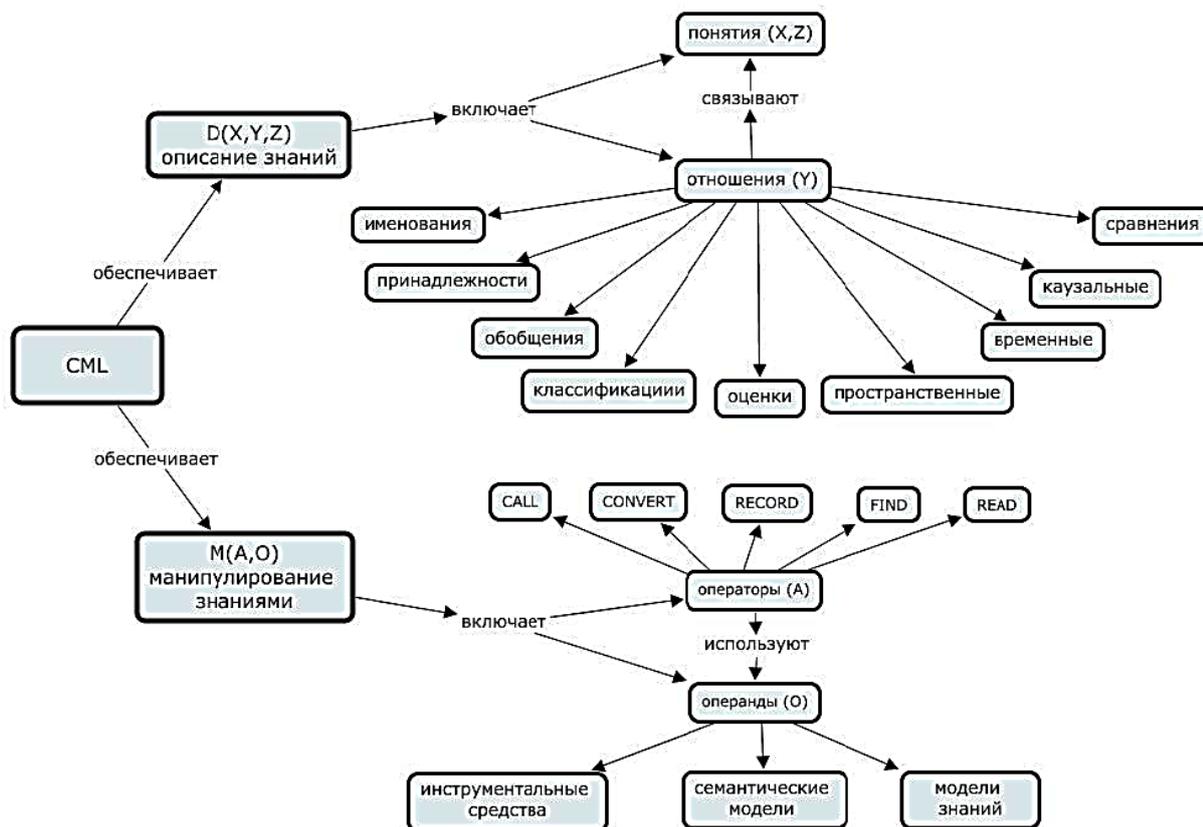


Рис. 5. Метаонтология языка CML как основы интерфейса WIS

Конечный результат проекта будет представлять собой программный продукт (Web-ориентированную информационную систему) для оценки влияния энергетики на геоэкологию региона, моделирования влияния критически важных объектов на качество жизни населения и поддержки принятия решений по повышению качества жизни с учетом требований геоэкологии, включающую усовершенствованный аналитический инструментарий для оценки выбросов энергетических объектов и распространения загрязнений.

Авторам проекта не удалось найти информацию в научной прессе и Интернет о попытках комплексного применения предлагаемых подходов в исследованиях поставленной проблемы. Исследование, выполняемое в рамках проекта, обладает высокой степенью новизны: разрабатываемые методы оригинальны, не имеют аналогов в области исследований и поддержки принятия решений при оценке влияния энергетики на геоэкологию региона и позволяют получить новые результаты мирового уровня.

Благодарности. Проект выполняется при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-57-81001, автор выражает за это благодарность фондам ЕАПИ-РФФИ. Кроме того, автор благодарит Т.Г. Зорину (представителя научного коллектива с Белорусской стороны) и коллег-соисполнителей Российского проекта: Иванову И.Ю. и Майсюк Е.П. – за предоставленную информацию о типологизации выбросов и о современном состоянии области исследований (оценки влияния энергетики на геоэкологию); Ворожцову Т.Н. и Кузьмина В.Р. – за помощь в оформлении иллюстративного материала (рис. 2-3, 4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геоэкология // Геологический словарь [в 3 т.] / гл. ред. О. В. Петров. 3-е изд., перераб. и доп. СПб: ВСЕГЕИ. 2010. Т. 1. А-Й. С. 244. ISBN 978-5-93761-171-0.
2. Геоэкология // Экологическая энциклопедия: В 6 т. / Гл. ред. В.И. Данилов-Данильян. М.: ООО «Изд-во „Энциклопедия“». 2010. Т. 2. Г-И. С. 22.
3. ВОЗ Health Impact Assessment Toolkit - Руководство по оценке воздействия на здоровье. ВОЗ. 2005.
4. Еремченко Е.Н. Неогеография и Situation Awareness // Материалы конференции «Неогеография XXI-2009» X Международного форума «Высокие технологии XXI века». Москва. 2009. С. 434–436.
5. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика. М.: Наука. 1991. 192 с.
6. Знания-Онтологии-Теории. Материалы Всероссийских конференций ЗОНТ–2013, 2015, 2017. Новосибирск: ИМ СО РАН. 2013. 2015. 2017.
7. Зорина Т.Г. Устойчивое развитие энергетики: сущность и методические подходы к оценке // Современные технологии управления. 2015. № 1. С. 27–38.
8. Иванова И.Ю., Иванов Р.А. Использование геовизуализации при анализе размещения объектов энергетической инфраструктуры центральной экологической зоны Байкальской природной территории // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2016. №4/2. С. 80-89.
9. Иванова И.Ю., Иванов Р.А. Геовизуализация и визуальная аналитика на примере обоснования развития энергетической инфраструктуры центральной экологической зоны Байкальской природной территории // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. №1. С. 87–98.
10. Кондратьев А. Современные тенденции в исследовании критической инфраструктуры в зарубежных странах. Режим доступа: http://pentagonus.ru/publ/sovremennye_tendenicii_v_issledovanii_kriticheskoi_infrastruktury_v_zarubezhnoj_stranakh_2012/19-1-0-2082 (дата обращения 7.09.2015)
11. Копайгородский А.Н. Применение онтологий в семантических информационных системах // Онтология проектирования. 2014. №4 (14). С. 78–89.
12. Майсюк Е.П., Иванова И.Ю., Иванов Р.А. Оценка объемов и состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от энергетических объектов центральной экологической зоны // Труды Международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы улучшения экологии и безопасности жизнедеятельности Байкальского региона. Белые ночи – 2016». Иркутск: Изд-во ИРНТУ. 2016. С. 475–482.
13. Массель А.Г. Динамические когнитивные карты для обоснования решений по стратегическому управлению развитием энергетики // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVIII Международной конференции. Самара: ООО «Офорт». 2016. С. 253–257.
14. Массель А.Г., Рак В.А. Разработка методов интеллектуальной поддержки принятия решений в энергетике России и Беларуси при реализации угроз энергетической безопасности // Интернет-журнал «Наукоедение». 2016. Том 8. №6. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/35TVN616.pdf> (доступ свободный).
15. Массель Л.В. Проблемы создания интеллектуальных систем семиотического типа для стратегического ситуационного управления в критических инфраструктурах // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2016. №1. С. 7–27.
16. Массель Л.В. Конвергенция исследований критических инфраструктур, качества жизни и безопасности // Информационные технологии и системы: Труды Шестой Международной научной конференции ИТиС-2017. Челябинск: ЧелГУ. Научное

- электронное издание. С. 170–175. ISBN 978-5-7271-1417-9. Режим доступа: <http://iit.csu.ru/content/docs/science/itis2017/itis2017.pdf> (дата обращения 10.05.2017)
17. Массель Л.В., Блохин А.А. Метод когнитивного моделирования индикаторов качества жизни с учетом внешних факторов // Наука и образование. Научное издание МГТУ им. Баумана. 2016. №4. С. 65–754. DOI: 10.7463/0416.0839061
 18. Массель Л.В., Массель А.Г., Иванов Р.А. Когнитивная графика и семантическое моделирование для геопространственных решений в энергетике // 21-я Международная конференция Интеркарто/ИнтерГИС «Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение»: труды. Краснодар-Фиджи. 2015. Краснодар: КГУ. С. 496–502.
 19. Массель Л.В., Массель А.Г. Язык описания и управления знаниями в интеллектуальной системе семиотического типа // XX Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении»: труды. Т. 3. Иркутск. ИСЭМ СО РАН. 2015. С. 112–124.
 20. Массель Л.В., Гальперов В.И. Разработка многоагентных систем распределенного решения энергетических задач с использованием агентных сценариев // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. №5. С. 45–53
 21. Массель Л.В., Массель А.Г. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования // III международная научно-техническая конференция OSTIS-2013: труды. Беларусь. Минск. БГУИР. 2013. С. 247–250.
 22. Массель Л.В., Кузьмин В.Р. Ситуационное исчисление как развитие семиотического подхода к построению интеллектуальной системы поддержки принятия решений // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2017. Т. 15. № 4. С. 43–52. DOI 10.25205/1818-7900-2017-15-4-43-52.
 23. Массель Л.В., Михалевич А.А., Массель А.Г., Римко Д.В., Рак В.А. Интеллектуальная поддержка принятия решений при определении стратегии развития энергетики России и Беларуси с позиций энергетической безопасности // Вестник ИрГТУ. 2013. №1 (72). С. 12–17.
 24. [Рассел и др. (а)] Действия, ситуации и события (онтология ситуационного исчисления) // В кн.: Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд.: Пер. с англ. М.: Изд. Дом «Вильямс». 2006. С. 451–466.
 25. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ. 1998. 376с.
 26. Хорошевский В.Ф. Семантические технологии: ожидания и тренды // Труды II Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем». Беларусь, Минск: БГУИР. 2012. С. 143–158.
 27. Черняк Л. Визуальная аналитика и обратная связь // Открытые системы. 2013. №6.
 28. Endsley M.R. The Role of Situation Awareness in Naturalistic Decision Making. In C. Zambock & G. Klein (Eds.), Naturalistic Decision Making, 1997. Mahwah, NJ: LEA. Pp. 269–284.
 29. E. Eremchenko, V. Tikunov, R. Ivanov, L. Massel, J. Strobl. Digital Earth and Evolution of Cartography // Procedia Computer Science. 2015. Volume 66. Pp. 235–238. Published by Elsevier.
 30. Massel L.V., Arshinsky V.L., Massel A.G. Intelligent computing on the basis of cognitive and event modeling and its application in energy security studies // Renewable and Alternative Energy: Concept, Methodologies, Tools, and Applications. 2016. Pp. 780–787. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri> DOI: 104018/978-1-5225-1671-2.ch024

**THE ASSESSMENT PROBLEM OF THE ENERGY SECTOR IMPACT
ON THE GEOECOLOGY OF THE REGION:
FORMULATION AND WAYS OF SOLUTION**

Liudmila V. Massel

Dr., Professor, Chief Researcher,
Head of the Laboratory "Information Technologies"
Melentiev Energy Systems Institute

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: massel@isem.irk.ru

Abstract. The article deals with the formulation and proposed approaches to the problem solving of the energy sector impact on the geocology of region. The work is carried out within the framework of the International Project jointly with the researchers of Belarus and Armenia with the support of the EAPI-RFFI funds. The article mainly deals with issues related to the implementation of the information and technological part of the Russian project. The urgency, goal and tasks of the project, proposed methods and approaches for the problem solving are determined. The ontology of the impact of energy sector on the environment and the ontology of pollutants from heat power facilities are given. It's shown the architecture of the Web-based information system (WIS), which will be the final result of the project.

Keywords: Geocology, mathematical modeling, semantic (ontological and cognitive) modeling, geoinformation technologies, Web-oriented information system, database, knowledge base.

Acknowledgment. The project is implemented with the financial support of the RFBR grant №18-57-81001, the author expresses his gratitude to the EAPI-RFFI funds for this. In addition, the author thanks T.G. Zorina (Belarusian researcher) and colleagues in Russian project: Ivanova I.Yu. and Maisuk EP - for providing information on the emissions typologization and on the current state in the research field (assessing of the energy sector impact on geocology). Also the author thanks Vorozhtsova T.N. and Kuzmin V.R. for help in the preparation of illustrative material (Fig. 2-3, 4).

References

1. Geoekologiya // Geologicheskij slovar'[Geocology // Geological dictionary] v 3 t. / gl. red. O. V. Petrov – 3-e izd., pererab. i dop.= Ch. Ed. O.V. Petrov . 3rd ed., rewritten and additional. St. Petersburg. VSEGEI = A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 2010. V. 1. A-J. P. 244. ISBN 978-5-93761-171-0. (in Russian)
2. Geoekologiya // Ekologicheskaya ehntsiklopediya [Geocology // Ecological encyclopedia] V 6 t. / Gl. red. V.I. Danilov-Danil'yan. M.: OOO « Izdatel'stvo " Entsiklopediya" = In 6 v. / Ch. Ed. V.I. Danilov-Danilyan. Moscow. Publishing house "Encyclopedia". 2010. Vol. 2. G-I. 2010. P. 22. (in Russian)
3. VOZ. Health Impact Assessment Toolkit [World Health Organization. Health Impact Assessment Toolkit]. Rukovodstvo po otsenke vozdeystviya na zdorov'e. VOZ = Guidance on health impact assessment. WHO. 2005. (in Russian)
4. Eremchenko E.N. Neogeografija i Situational Awareness [Neogeography and Situational Awareness] // Konferencija «Neogeo-grafija XXI-2009». X Mezhdunarodnyj forum «Vysokie tehnologii XXI veka»: trudy. Moskva. = Conference "Neogeography XXI-2009". X

- International Forum "High Technologies of XXI Century": Proceedings. Moscow. 2009. Pp. 434–436 (in Russian)
5. Zenkin A.A. Kognitivnaja komp'yuternaja grafika [Cognitive Computer Graphics]. M. Nauka. 1991. 192 p. (in Russian).
 6. Znaniya-Ontologii-Teorii [Knowledge-Ontology-Theory]. Materialy Vserossijskikh konferentsij ZONT = Proceedings of All-Russian conferences ZONT. Novosibirsk: IM SB RAS, 2013, 2015, 2017 (in Russian)
 7. Zorina T.G. Ustojchivoje razvitie ehnergetiki: sushhnost' i metodicheskie podkhody k otsenke [Sustainable energy development: the essence and methodological approaches to evaluation] // Sovremennye tekhnologii upravleniya = Modern management technologies. 2015. № 1. Pp. 27–38 (in Russian)
 8. Ivanova I.Yu., Ivanov R.A. Ispol'zovanie geovizualizatsii pri analize razmeshheniya ob'ektov ehnergeticheskoj infrastruktury tsentral'noj ehkologicheskoy zony Bajkal'skoj prirodnoj territorii [The use of geovisualization in the location analysis of energy infrastructure objects of the central ecological zone of the Baikal natural territory] // Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and Mathematical Technologies in Science and Management. 2016. №4/2. Pp. 80–89 ((in Russian)
 9. Ivanova I.Yu., Ivanov R.A. Geovizualizatsiya i vizual'naya analitika na primere obosnovaniya razvitiya ehnergeticheskoj infrastruktury tsentral'noj ehkologicheskoy zony Bajkal'skoj prirodnoj territorii [Geovisualization and visual analytics on the substantiation example of the energy infrastructure development of the central ecological zone of the Baikal natural territory] // Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. = Information and Mathematical Technologies in Science and Management. 2018. №1. Pp. 87–98 (in Russian)
 10. Kondrat'ev A. Sovremennye tendencii v issledovanii kriticheskoy infra-struktury v zarubezhnyh stranah [Current trends in the study of critical infrastructure in foreign countries]. Available at: http://pentagonus.ru/publ/sovremennye_tendencii_v_issledovanii_kriticheskoy_infrastruktury_v_zarubezhnoj_stranakh_2012/19-1-0-2082 (accessed 7.09.2015) (in Russian)
 11. Kopaigorodsky A.N. Primenenie ontologij v semanticheskikh informatsionnykh sistemakh [Application of ontologies in semantic information systems] // Ontologiya proektirovaniya = Ontology of design. 2014. №4 (14). Pp. 78–89 (in Russian)
 12. Maysyuk E.P., Ivanova I.Yu., Ivanov R.A. Otsenka ob'emov i sostava vybrosov zagryaznyayushhikh veshhestv v atmosferu ot ehnergeticheskikh ob'ektov tsentral'noj ehkologicheskoy zony [Assessment of the volume and composition of pollutants emissions into the atmosphere from energy objects of the central ecological zone] // Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennoe sostoyanie i perspektivy uluchsheniya ehkologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti Bajkal'skogo regiona. Belye nochi – 2016». Irkutsk: Izd-vo IRNITU = Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Current state and prospects for improving the ecology and safety of vital activity of the Baikal region. White Nights - 2016 ". Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University Publ. 2016. Pp. 475–482. (in Russian)
 13. Massel A.G. Dinamicheskie kognitivnye karty dlya obosnovaniya reshenij po strategicheskomu upravleniyu razvitiem ehnergetiki [Dynamic cognitive maps for justifying decisions on strategic management of energy development] // Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnyh sistemah: Trudy XVIII Mezhdunarodnoj konferencii = Problems of control and modeling in complex systems: Proceedings of the XVIII International Conference. Samara: OOO «Ofort». 2016. Pp. 253–257 (in Russian)

14. Massel A.G., Rak V.A. Razrabotka metodov intellektual'noj podderzhki prinyatiya reshenij v ehnergetike Rossii i Belarusi pri realizacii ugroz ehnergeticheskoj bezopasnosti [Development of methods of intellectual support for decision-making in the energy sector of Russia and Belarus in the implementation of threats to energy security] // Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2016. Tom 8. №6. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/35TVN616.pdf> (in Russian)
15. Massel L.V. Problemy sozdaniya intellektual'nyh sistem semioticheskogo tipa dlya strategicheskogo situacionnogo upravleniya v kriticheskikh infrastrukturah [The problems to create intelligent systems of semiotic type for strategic situational management in critical infrastructures] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. Nauchnyj zhurnal = Information and Mathematical Technologies in Science and Management. 2016. № 1. Pp. 7–27 (in Russian)
16. Massel L.V. Konvergenciya issledovanij kriticheskikh infrastruktur, kachestva zhizni i bezopasnosti [The interpenetration of research in the field of critical infrastructures, quality of life and safety] // Informacionnye tekhnologii i sistemy: Trudy Shestoj Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii ITiS-2017. Chelyabinsk: CHelGU. Nauch. ehlektron. izdanie = Proceedings of the Sixth International Scientific Conference IT & S-2017. Chelyabinsk: ChelSU. Scientific electron. edition. ISBN 978-5-7271-1417-9. Pp. 170–175. Available at: <http://iit.csu.ru/content/docs/science/itis2017/itis2017.pdf> (in Russian)
17. Massel L.V., Blohin A.A. Metod kognitivnogo modelirovaniya indikatorov kachestva zhizni s uchetom vneshnih faktorov [Method of cognitive modeling of quality of life indicators taking into account external factors] // Nauka i obrazovanie. Nauchnoe izdanie of MGTU im. Bauman = Science and education. Scientific publication of the Bauman MSTU. 2016. №4. Pp. 65–754. DOI: 10.7463/0416.0839061 (in Russian)
18. Massel' L.V., Massel' A.G., Ivanov R.A. Kognitivnaja grafika i semanticheskoe modelirovanie dlja geoprostranstvennyh reshenij v jenergetike [Cognitive graphics and semantic modeling for spatial solutions in the energy sector] // 21-ja Mezhdunarodnaja konferencija Interkarto/InterGIS «Ustojchivoe razvitie territorij: kartografo-geoinformacionnoe obespechenie»: trudy. = 21th International Conference Intercarto/InterGIS "Sustainable Development of Territories: Cartography and GIS software": proceedings. Krasnodar-Fiji. KSU. 2015. Pp. 496–502 (in Russian)
19. Massel' L.V., Massel' A.G. Jazyk opisaniya i upravleniya znanijami v intellektual'noj sisteme semioticheskogo tipa [The language for knowledge description and management in the intelligent system of semiotic type] // XX Bajkal'skaja Vserossijskaja konferencija «Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii»: trudy. = XX Baikal All-Russian Conference "Information and mathematical technologies in science and management": Proceedings. T. 3. Irkutsk. ISJeM SO RAN. = Vol. 3. Irkutsk. Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Science. 2015. Pp. 112–124 (in Russian)
20. Massel' L.V., Gal'perov V.I. Razrabotka mnogoagentnyh sistem raspredelenno-go reshenija jenergeticheskikh zadach s ispol'zovaniem agentnyh scenarijev [The development of multi-agent systems for distributed solving of the energy tasks using agent scenarios] // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. T. 326. №5. 2015.. Pp. 45-53 (in Russian).
21. Massel' L.V., Massel' A.G. Semanticheskie tekhnologii na osnove integracii ontologicheskogo, kognitivnogo i sobytijnogo modelirovaniya [Semantic technologies based on the integration of the ontological, cognitive and event modeling] // III mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija OSTIS-2013: trudy. = III International Scientific Conference OSTIS-2013:

- Proceedings. Minsk. BGUIR = Belarus' State University of Informatics and Radiotechnics. 2013. Pp. 247–250 (in Russian)
22. Massel L.V., Kuzmin V.R. Situacionnoe ischislenie kak razvitie semioticheskogo podhoda k postroeniyu intellektual'noj sistemy podderzhki prinyatiya reshenij [Situational calculus as the development of the semiotic approach to building an intellectual decision support system] // Vestnik NGU. Seriya: Informacionnye tekhnologii = Bulletin of NSU. Series: Information technology. 2017. Vol. 15. № 4. Pp. 43–52. DOI 10.25205/1818-7900-2017-15-4-43-52 (in Russian)
23. Massel L.V., Mikhalevich A.A., Massel A.G., Rimko D.V., Rak V.A. Intellektual'naya podderzhka prinyatiya reshenij pri opredelenii strategii razvitiya ehnergetiki Rossii i Belarusi s pozicij ehnergeticheskoy bezopasnosti [Intelligent support for decision-making in the strategy determination for the energy development in Russia and Belarus from the standpoint of energy security] / Vestnik IrGTU = Bulletin of IrSTU. 2013. № 1 (72). Pp. 12–17 (in Russian)
24. [Russel i dr. (a)] Dejstvija, situacii i sobytija (ontologija situacionnogo is-chislenija) [Russel et al (a). Actions, situations and events (ontology of situational calculus)] // V kn.: Russel S., Norvig P. Iskusstvennyj intellekt: sovremennyj podhod. 2-e izd.:Per. s angl. M. Izd. Dom «Vil'jams». = In book: Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 2nd ed. Trans. from English. Moscow. Pub. House "Williams". 2006. Pp. 451–466. (in Russian)
25. Trahtengerc E.A. Komp'juternaja podderzhka prinjatija reshenij [Computer support of decision-making]. Moscow. SINTEG. 1998. 376 p. (in Russian)
26. Khoroshevsky V.F. Semanticheskie tekhnologii: ozhidaniya i trendy [Semantic Technologies: Expectations and Trends] // Trudy II Mezhdunarodnoj nauchno- tekhnicheskoy konferencii «Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektual'nyh sistem» = Proceedings of the II International Scientific and Technical Conference "Open Semantic Technologies for the Design of Intelligent Systems". Belarus, Minsk: BSUIR. 2012. Pp. 143–158. (in Russian)
27. Chernjak L. Vizual'naja analitika i obratnaja svjaz' [Visual Analytics and Feedback] // Otkrytye sistemy =Open Systems. 2013. №6. Available at: <http://www.osp.ru/os/archive/> (accessed 02.12.2014). (in Russian)
28. Endsley M.R. The Role of Situation Awareness in Naturalistic Decision Making. In C. Zambock & G. Klein (Eds.). Naturalistic Decision Making. 1997. Mahwah. NJ: LEA. Pp. 269–284.
29. E. Eremchenko, V. Tikunov, R. Ivanov, L. Massel, J. Strobl. Digital Earth and Evolution of Cartography. Procedia Computer Science. 2015. Volume 66. Pp. 235–238. Published by Elsevier.
30. Massel L.V., Arshinsky V.L., Massel A.G. Intelligent computing on the basis of cognitive and event modeling and its application in energy security studies / Renewable and Alternative Energy: Concept, Methodologies, Tools, and Applications. 2016. Pp. 780–787. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri> DOI: 104018/978-1-5225-1671-2.ch024