

УДК 002.53: 004.89

СОЗДАНИЕ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ СОВМЕСТНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ В СРЕДЕ COLLA НА ОСНОВЕ МЕТОДА КУСТА СОБЫТИЙ

П. Дивьякко^a, К.А. Пшеничный^b, Б. Бенке^c, О.М. Канжелева^d

^a Национальный институт океанографии и экспериментальной геофизики, 34010, Триест, Италия

^b Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия, cpshenichny@yandex.ru

^c Национальный институт геофизики и вулканологии Италии, Катанийский филиал, 95125, Катания, Италия

^d независимый исследователь, 98000-98099, Редмонд, США

Аннотация.

Постановка проблемы. Использование традиционных средств коммуникации в глобальных сетях для поддержки научно-исследовательских проектов не может решить специфических проблем, возникающих при совмещении знаний в одной и той же области, но выработанных разными научными школами, в разных парадигмах и на различной концептуальной основе. Существующие синхронные (например, Webex или ShowDocument) или асинхронные (Zimbra, Google Docs и другие) программные продукты эффективны лишь тогда, когда пользователи однозначно трактуют контекст исследования и не привносят в него собственных неформализуемых смыслов. В то же время для эффективной работы над научными проектами необходим инструмент, позволяющий в явном виде привносить подобные смыслы и связывать их с общим контекстом.

Методы. Представлено решение проблемы с помощью специализированных средств поддержки совместных научных исследований в среде COLLA, использующих методы представления и инженерии знаний. Показано, что эффективное моделирование многих областей знания требует применения специфических средств моделирования динамического знания, из которых наиболее разработанным является метод куста событий.

Результаты. Рассмотрены вопросы совмещения метода куста событий и системы поддержки совместных научных исследований COLLA на примере научно-исследовательских проектов в сейсмологии и вулканологии. Подход апробирован на примере двух актуальных задач наук о Земле – оценки сценариев развития геологических катастроф, связанных с извержением одного из самых опасных европейских вулканов (Этна), и одного из самых опасных эффектов, возникающих при землетрясениях (эффекта местоположения).

Практическая значимость. Метод куста событий может использоваться для количественной оценки сходства-различия моделируемых явлений на основе экспертного знания о них, что может иметь практическое значение далеко за пределами наук о Земле.

Ключевые слова: системы поддержки совместных научных исследований, представление знаний, инженерия знаний, динамическое знание, куст событий, науки о Земле, вулканология, Этна.

SYSTEMS FOR SUPPORT OF COLLABORATIVE STUDIES IN THE COLLA ENVIRONMENT BASED ON THE EVENT BUSH METHOD

P. Diviaco^a, C. A. Pshenichny^b, B. Behncke^c, O.M. Kanzheleva^d

^a Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, 34010, Trieste, Italy

^b ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia, cpshenichny@yandex.ru

^c Sezione di Catania, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 95125, Catania, Italy

^d Independent researcher, 98000-98099, Redmond, USA

Abstract.

Problem statement. Conventional tools of online communication in global networks for support of scientific and research projects fail to handle specific issues that arise at scientific collaboration of different scientific schools. They cannot be used to bring together the knowledge relating to the same field but generated in various scientific schools, under different paradigms and on different conceptual grounds. Existing software solutions, both synchronous (e.g., Webex or ShowDocument) and asynchronous (Zimbra, Google Docs and others) are efficient only when the users share similar understanding of the context and do not bring their own non-formalized meanings in it. Meanwhile, a tool is needed for scientific cooperation that makes it possible to bring one's own meanings and relate them to the common context.

Methods. Special tools for support of collaborative research in the COLLA environment using the methods of knowledge engineering and knowledge representation are given. Effective modeling of many knowledge domains is shown to require special methods of dynamic knowledge modeling; one of the well-developed is the event bush method.

Results. The paper deals with issues of combination of the event bush method and COLLA collaborative research support technique on the example of S&R projects in seismology and volcanology. Approach approbation is done on the example of two urgent tasks for geosciences: estimation of progress scenarios for geological disasters caused by Etna eruption, one of the most dangerous European volcanoes, and one of the most perilous earthquake effects (location effect).

Practical application. Event bush method can be used for quantitative assessment of similarity-difference for modeled effects based on the expert knowledge about them. This opportunity can find its substance in many fields of science far beyond geosciences.

Keywords: collaborative research support systems, knowledge representation, knowledge engineering, dynamic knowledge, event bush, geosciences, volcanology, Etna.

Введение

Современные научные исследования, как правило, представляют собой крупные совместные проекты, зачастую включающие десятки коллективов. Эти коллективы происходят из различных научных

школ, пользуются разной терминологией и, что наиболее важно, разной концептуальной базой. Для эффективной координации их работы необходимы технологии, использующие глобальные компьютерные сети. При этом обычные средства коммуникации (электронная почта, социальные сети, форумы и др.) могут решить эту задачу только на внешнем, самом простом уровне – на уровне технических вопросов (организации встреч, распределения средств и тому подобного). Использование их для ведения собственно научных дискуссий, как показывает опыт многочисленных научных форумов и блогов, приводит к смешению тематик, уходу от предмета обсуждения, подмене понятий и тезиса и, в конечном счете, не ведет к установлению взаимопонимания между учеными. Причина неэффективности обычных средств сетевого общения кроется в том, что они не позволяют вскрыть смысловые особенности коммуницируемой информации.

В последние годы получили распространение специализированные средства поддержки совместных исследований, как синхронные, требующие одновременной работы пользователей над одним проектом – например, Webex (<http://www.webex.com>) или ShowDocument (www.showdocument.com), так и асинхронные, предполагающие работу «по очереди» – Zimbra (www.zimbra.com), Google Docs (docs.google.com) и др. Как показывает опыт, асинхронные инструменты оказываются в большинстве случаев удобнее. Однако даже упомянутые программные продукты удовлетворяют, скорее, потребности промышленных и торговых компаний, нежели ученых, поскольку не могут достаточно «выпукло» показать взаимоотношения смыслов и контекстов. В настоящее время активно разрабатывается специализированный асинхронный инструмент для поддержки научных исследований COLLA [1], представляющий собой среду, в которой будут работать различные средства представления знаний.

Как отмечают многие специалисты в области методологии науки, найти общий язык для участников совместных исследований возможно только при условии, что каждый из них будет продолжать существовать в своем интеллектуальном пространстве [2, 3]. Выполнить данное условие крайне трудно, и для этого необходимы, как отмечают многие ученые, средства представления и инженерии знаний, сочетающие структурирование знаний и их визуализацию [4]. В настоящее время одним из основных методов, активно используемых для поддержки совместных научных исследований, являются онтологии [5]. Широко применяются также другие средства, основанные на классической логике – концептуальные графы [6], OWL, KIF, RDF, ER, N3 и др. [7].

Эти методы позволяют эффективно решать широкий круг задач, в которых сущности, их свойства и отношения рассматриваются как неизменные (построение моделей данных, алгоритмов поиска и другие). В то же время есть не меньший класс задач, в которых данное условие не только может не выполняться, но и должно нарушаться – и именно эти задачи представляют, как правило, особый интерес в научных исследованиях [8]. Для их решения требуются *динамические* методы представления и инженерии знаний, из которых семантически и синтаксически наиболее разработанным в настоящее время представляется метод куста событий [9].

Целью настоящей работы является разработка правил преобразования информации для создания систем поддержки совместных научных исследований в науках о Земле в среде COLLA на основе метода куста событий. Данная цель предполагает решение следующих задач:

- адаптировать метод куста событий для задач поддержки совместных научных исследований;
- внедрить существующую компьютерную реализацию метода куста событий в среду поддержки совместных научных исследований COLLA;
- валидировать предлагаемый подход на примере конкретных систем поддержки совместных научных исследований в науках о Земле.

Метод куста событий

Метод куста событий – это метод инженерии знаний о динамических сущностях (событиях, процессах, сценариях), основанный на представлении предметной области в виде «многопоточковой структуры» [9]. С помощью этого метода можно графически описать рассматриваемую предметную область на основе событий и связей между ними (или, иными словами, процессов).

Событие E определяется как высказывание вида $S - P_1, P_2, \dots, P_n$, где S – субъект, а P_1, P_2, \dots, P_n – предикаты, возможно, с отрицанием. На это определение вводятся следующие ограничения:

1. в каждом событии присутствует только один субъект;
2. субъект не может отрицаться;
3. все предикаты в событии также не могут отрицаться, т.е. в списке P_1, P_2, \dots, P_n должен быть, по крайней мере, один предикат без отрицания. Например, событием является высказывание «Сильное государство (S) не имеет больших запасов сырья ($-P_1$), не разрабатывает запасы сырья ($-P_2$), допускает возможность вмешаться в дела слабого государства (P_3), допускает возможность поглотить слабое государство (P_4)» [10].

События делятся на четыре типа (рис. 1):

1. первичные внутренние (тип ia),

2. первичные внешние (тип *ib*),
3. вторичные (тип *ii*),
4. третичные (тип *iii*).

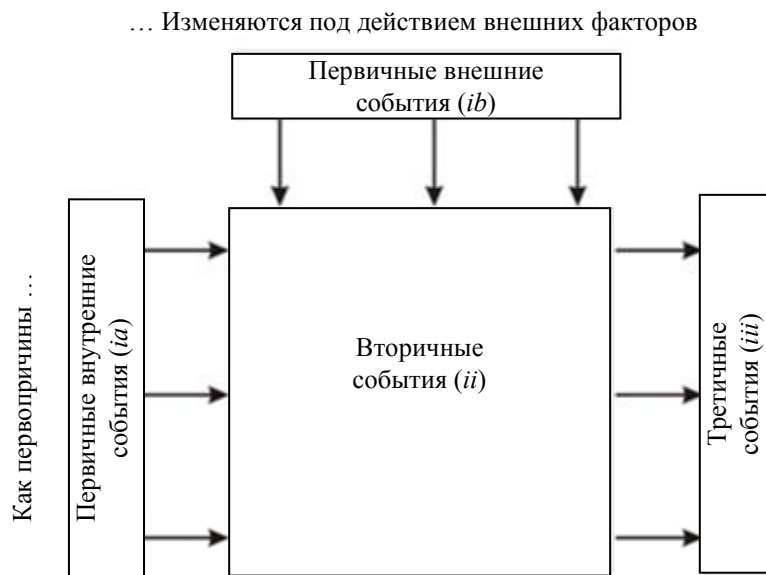


Рис. 1. Базовый синтаксис куста событий [8]

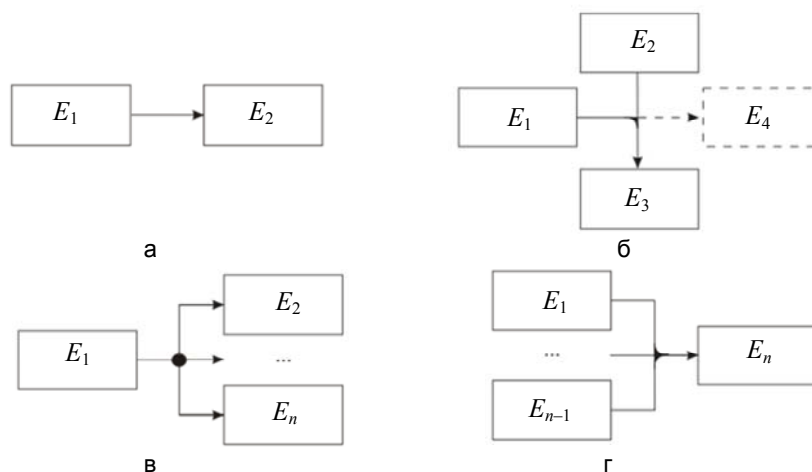


Рис. 2. Союзы куста событий: течение (а); влияние (б); разлив (в); слияние (г) [9]; *E* – событие

События связываются друг с другом союзами четырех видов – течения, влияния, слияния и разлива. Наличие первых двух является обязательным в кусте событий. Графические нотации союзов представлены на рис. 2 [9]. Детальное изложение метода куста событий приводится в работах [9] и [11].

С каждым объектом куста событий – субъектом или предикатом события, событием в целом, союзом, последовательностью союзов (т.е. сценарием) и, наконец, со всем кустом – можно связать данные любого формата. Связывая с одним и тем же объектом различные данные, пользователи структурируют и систематизируют общее знание по проекту на всех уровнях, устанавливая точки противоречия и возможности компромисса. Кроме того, если разница в подходах у ученых слишком велика, инженер по знаниям, сопровождающий проект, может предложить вместо одного куста семейство кустов событий с одинаковой семантикой (т.е. набором событий), но различным синтаксисом (т.е. организацией этих событий в сценарии посредством союзов). Это сохранит возможности связывания альтернативных данных с объектами кустов событий, но откроет возможности для формализации дискуссии и поиска общего языка на самом базовом, фундаментальном уровне понимания предметной области.

Компьютерная реализация метода куста событий в среде COLLA

К настоящему времени куст событий реализуется в виде векторной графики в соответствующих графических редакторах (например, Corel Draw, Microsoft Visio или Dia). Векторный файл конвертируется в формат SVG, что позволяет осуществить в среде COLLA интерактивную визуализацию куста собы-

тий (как и любого другого графического построения) и связывать с любым из его объектов внешние данные, а также уменьшать или увеличивать масштаб и просматривать куст по частям на экране (что представляется крайне важным ввиду сложности структуры и большого размера многих «рабочих» кустов). Файл SVG импортируется в формат COLLA, где становится основой нового проекта COLLA (рис. 3).

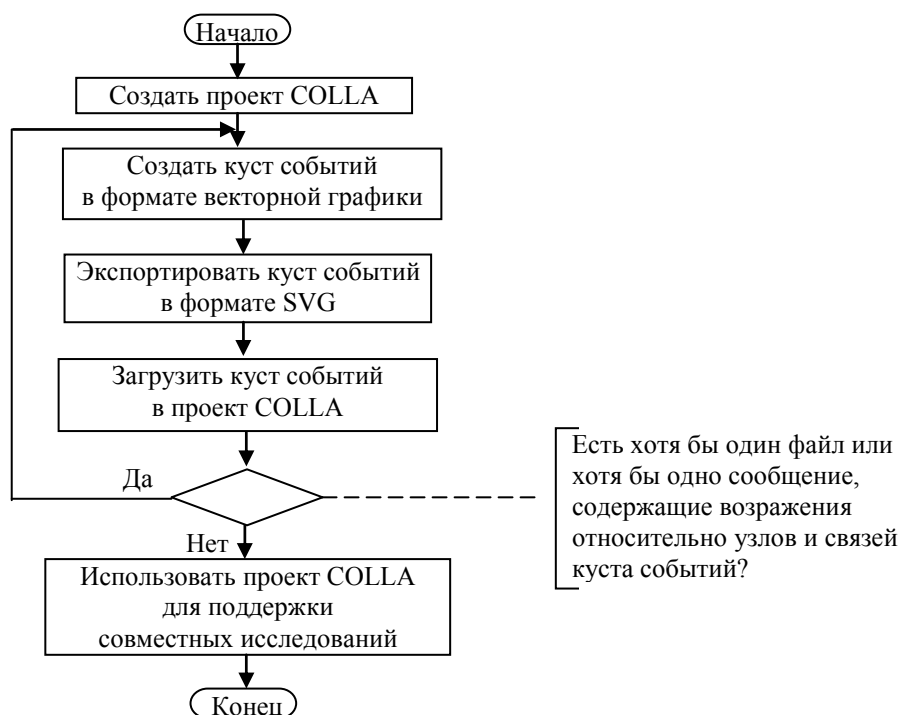


Рис. 3. Принципиальная схема проекта на основе куста событий в среде COLLA

COLLA предлагает два вида данных, которые можно связывать с графическими объектами – файлы и сообщения (рис. 3). И те, и другие могут содержать Интернет-ссылки. Файлы могут иметь любой формат. Сообщения создаются пользователями в проекте COLLA сразу в привязке к конкретному (выделенному пользователем) графическому или текстовому объекту. Сообщение появляется в среде COLLA, хранится в базе данных проекта, отображается на web-странице, соответствующей тому объекту, к которому оно относится, и дублируется по электронной почте всем участникам проекта. Адрес электронной почты необходим при регистрации в проекте COLLA. В теле письма, кроме текста сообщения в COLLA, содержится «волшебная ссылка», позволяющая автоматически регистрироваться в системе и немедленно приступить к работе по обсуждаемому проекту.

При импорте куста событий все партнеры видят его на экране и могут работать с ним, связывая с субъектами, предикатами, союзами, сценариями и кустом в целом файлы и сообщения. Щелкнув по тому или иному объекту, пользователь видит, какие файлы и сообщения с ним связаны, и может добавить свои. При этом все участники проекта, включая его самого, получают по электронной почте уведомление о подгруженном файле или комментарии к соответствующему объекту куста событий.

Системы поддержки совместных исследований в науках о Земле

Предлагаемый подход был применен в рамках нескольких международных исследовательских инициатив в науках о Земле – вулканологии (рис. 4) и сейсмологии [12].

Система поддержки вулканологических исследований преследует целью объединение и согласование представлений о характере извержений вулкана Этна (Италия). Для этого поведение вулкана моделируется средствами куста событий [13]. Как показано на рис. 4, куст событий (а) внедряется в среду COLLA в виде самостоятельного проекта в этой среде (б). В этом проекте к каждому объекту куста событий могут подгружаться сообщения (в) и файлы (г). Подгружая свои файлы, пользователь тем самым передает свой уникальный контекст, в котором существует его видение предмета обсуждения. Одновременно этот контекст – точнее, та его часть, которую сам пользователь посчитал значимой для совместного исследования – помещается в более общий контекст данного исследования, очерчиваемый кустом событий.

Описанная система действует в Национальном институте океанографии и экспериментальной геофизики в Триесте (Италия) и используется международным научным сообществом для прогнозной оценки активности кратеров Этны.

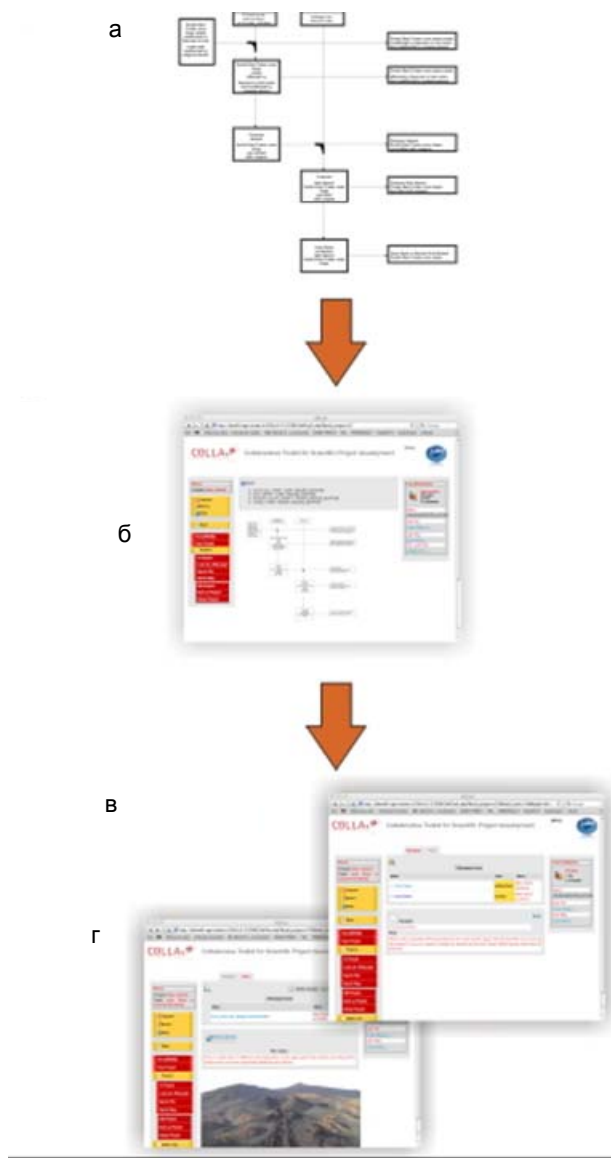


Рис. 4. Общая схема системы поддержки вулканологических исследований на вулкане Этна (Италия): куст событий (а); куст событий, внедренный в среду COLLA в том виде, в каком его видит пользователь (б); текстовые сообщения, связанные в среде COLLA с элементами куста событий (в); файлы, связанные в среде COLLA с элементами куста событий (г)

Еще одним примером использования куста событий в среде COLLA для решения задач в науках о Земле является создание системы оптимизации моделирования эффектов местоположения (site effects), заключающихся в многократном усилении сейсмической волны на ограниченных территориях вследствие особенностей геологического строения. Работа над данной системой была начата в рамках проекта Европейской комиссии CRODINAS (2009–2011 гг.), а в настоящее время она также развернута в итальянском Национальном институте океанографии и экспериментальной геофизики.

Моделирование эруптивной активности вулкана Этна

Пример построения куста событий по наблюдаемым на поверхности Этны породам и формам рельефа (рис. 5) на основе знания о породивших их процессах приведен на рис. 6. Подобным образом был построен общий куст событий, описывающий полную группу сценариев извержений Юго-Восточного кратера Этны [13]. Затем, путем удаления ненаблюдавшихся сценариев, из него были получены его частные случаи – кусты событий по трем последовательным извержениям, 16, 19 и 24 ноября 2006 г.

Одной из важнейших задач, решаемых для составления прогнозной оценки хода извержения, является определение сходства начинающегося или предполагаемого извержения с уже произошедшими. До настоящего времени данная задача решалась в вулканологии интуитивно, на основе зрительного опыта ученых, а в случае его отсутствия – на основе текстовых описаний. Авторами был произведен опрос спе-

циалистов, знакомых с тремя моделируемыми извержениями. Подавляющее большинство высказало мнение, что извержения 16 и 19 ноября гораздо более схожи друг с другом, нежели 16 и 24 ноября и 19 и 24 ноября 2006 г. Метод куста событий открывает теоретическую возможность проводить подобное сравнение на гораздо более строгом и беспристрастном уровне, оценивая меру сходства/различия и качественно, и количественно.

Для оценки различия кустов событий определим бинарное отношение \leq на множестве [14], в данном случае – на множестве кустов событий. Для заданных кустов A и B будем говорить: если $A \leq B$, то куст A не превосходит куст B . Это значит, что, во-первых, множество узлов куста A V_A является подмножеством множества узлов куста B V_B : $V_A \subseteq V_B$; во-вторых, множество ребер куста A E_A является подмножеством множества ребер куста B E_B : $E_A \subseteq E_B$.

Отметим, что множество кустов событий является частично упорядоченным множеством [15] относительно заданного выше бинарного отношения \leq . Действительно, на множестве кустов событий для данного отношения выполнены рефлексивность, транзитивность и антисимметричность. Таким образом, при сравнении двух кустов событий, описывающих извержения или эруптивные центры, нетрудно сформулировать соотношения между ними [16].



Рис. 5. Рельеф и породы, созданные эруптивными процессами на южном склоне вулкана Этна (Сицилия) вблизи Рефуджио Сапиенца. Фото К.А. Пшеничного

1. Отношение тождества: $A = B$. Кусты совпадают, т.е. совпадают и набор узлов, и все ребра между ними.
2. Отношение подчинения: $A > B$. Один куст является частью другого. Все его узлы и ребра присутствуют в другом кусте, но не все узлы и (или) ребра другого куста присутствуют в нем. Именно в таком отношении находятся кусты отдельных извержений к кусту по Юго-Восточному кратеру.
3. Отношение пересечения, или общего положения. A и B находятся в общем положении, т.е. существуют, по крайней мере, один узел (или ребро), принадлежащий исключительно кусту A , узел (или ребро), принадлежащий исключительно кусту B , а также узел, принадлежащий обоим кустам.
4. Отношение несравнимости. Кусты A и B не пересекаются, т.е. у кустов нет ни одного одинакового узла. Заметим, что отсутствие одинаковых узлов гарантирует отсутствие одинаковых ребер.

Первый случай тривиален, в остальных случаях можно оценить количество и характер шагов (введение/удаление узлов и связей), необходимых, чтобы из одного куста получить другой – или, иными словами, количественно определить, насколько один куст похож на другой. Соответственно, если считать куст событий моделью наших представлений о явлении, есть основания надеяться, что данный подход позволит определить тот «поправочный коэффициент», который надо ввести, чтобы применить вероятностное высказывание об одном вулкане или извержении к другому вулкану или извержению.

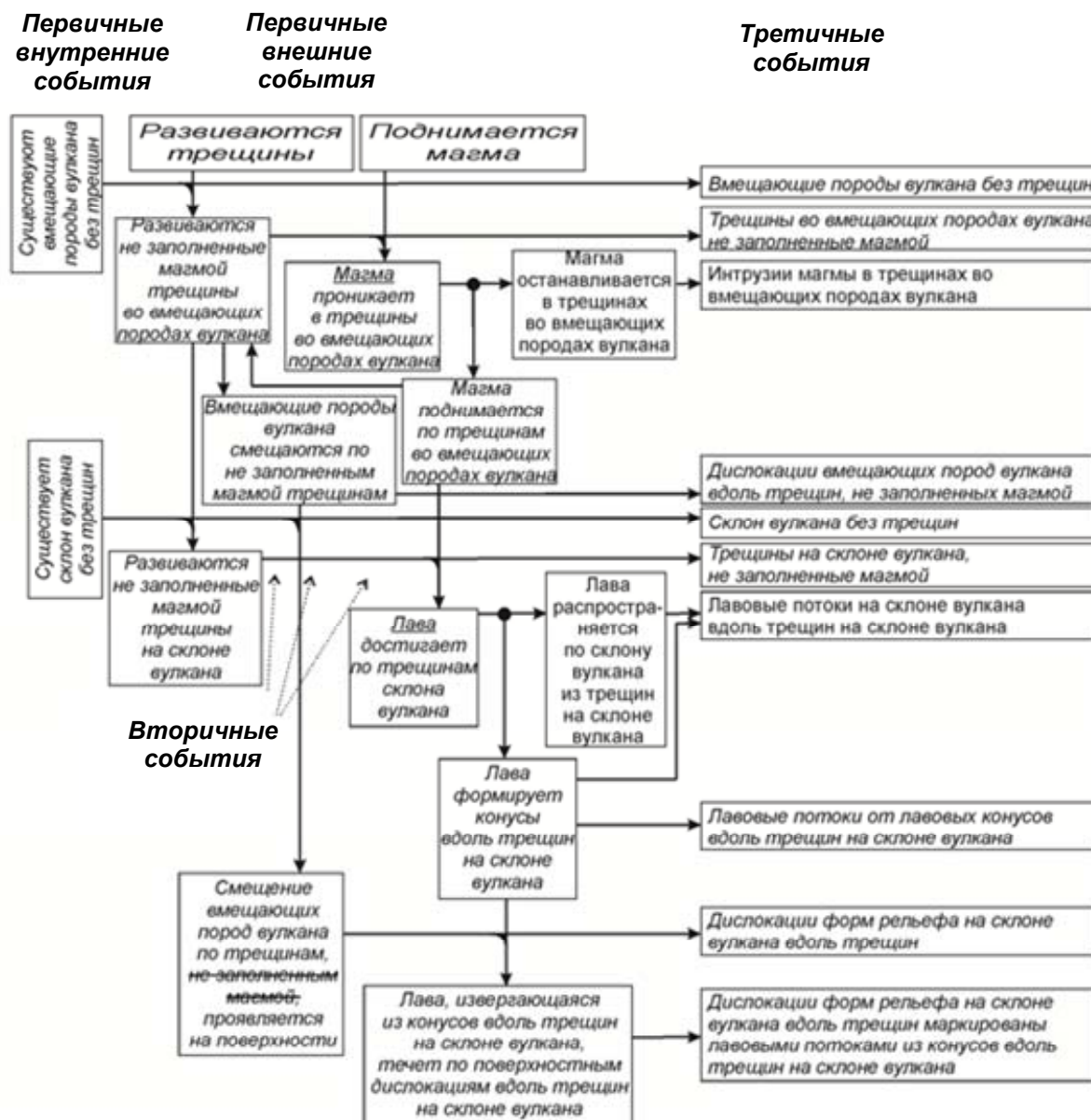


Рис. 6. Куст событий, описывающий формирование рельефа и пород, показанных на рис. 5. Зачеркнуты признаки, оказывающиеся не релевантными для следующего шага

Поправочный коэффициент является функцией, аргументами которой являются количество различных узлов $((V_A \setminus V_B) \cup (V_B \setminus V_A))$ и количество различных ребер $((E_A \setminus E_B) \cup (E_B \setminus E_A))$.

В простейшем случае данная функция может выглядеть следующим образом:

$$k(A, B) = 1 - \frac{|A \setminus B| + |B \setminus A|}{|A| + |B|},$$

где $|A \setminus B|$ – это количество узлов и ребер, которые есть в кусте событий A , но не присутствуют в кусте событий B ; $|B \setminus A|$ – это количество узлов и ребер, которые есть в кусте событий B , но не присутствуют в кусте событий A ; $|A|$, $|B|$ – это общее количество узлов и ребер кустов событий A , B соответственно. Данный поправочный коэффициент отражает схожесть кустов событий: если кусты равны, коэффициент равен 1, если у кустов нет ни одного одинакового узла, коэффициент равен 0.

Коэффициент был посчитан для кустов событий, имевших место 16, 19 и 24 ноября 2006 г.

Наименьшее значение имеет коэффициент для кустов событий 16 и 19 ноября, его значение $\approx 0,5$. Сравнение кустов событий для 16 и 24 ноября дает коэффициент $\approx 0,68$. Наибольшим сходством обладают кусты событий для 19 и 24 ноября, коэффициент $\approx 0,82$. С вулканологической точки зрения эти значения представляются вполне обоснованными, хотя интуитивно далеко не очевидными. Действительно, подавляющее большинство событий 19 ноября (связанных с истечением лавы или стромболианской активностью) в том виде, в каком они представлены в рассматриваемом кусте событий, повторились и

24 ноября. В то же время другие события третьего извержения (а именно, практически все необычные процессы перемещения вулканического материала) имеют гораздо больше общего с извержением 16 ноября. Тем не менее, интуитивное решение большинства экспертов-вулканологов относительно попарного сходства рассматриваемых извержений было иным.

Подобное сравнение можно производить не только для кустов событий, описывающих различные извержения одного вулкана, но и для двух любых кустов событий, например, для двух кустов событий, описывающих поведение различных вулканов. В будущем мы предполагаем разработать более тонкие меры сходства/различия, лучше учитывающие семантические различия между узлами. Такой сравнительный анализ был бы чрезвычайно полезен в решении ряда прикладных задач – таких, как оценка вулканической опасности или геотермального потенциала питающих магматических систем. Подобное сравнение можно осуществлять и в других областях наук о Земле, что значительно повысит надежность экспертных оценок при переносе знания по одному объекту на другой.

Кусты событий по трем последовательным извержениям – 16, 19 и 24 ноября 2006 г. – представляют собой частные случаи общего куста событий, построенного для описания полной группы эруптивных сценариев юго-восточного кратера Этны. За период с 2006 по 2014 гг. было описано несколько сотен больших и малых извержений юго-восточного, а затем и нового юго-восточного кратеров Этны. В ходе многих из них наблюдались события, отсутствовавшие при трех упомянутых извержениях – превращение потока лавы в поток обломков в результате взаимодействия лавы и снега, фонтанирование лавы из вновь раскрывшихся трещин и другие – но не было зафиксировано ни одного сценария, не содержащегося в общем кусте событий. Это означает, что за восемь лет не возникло ситуации, когда данные, подгружаемые участниками проекта в среду COLLA в виде файлов или сообщений, не могли бы быть адекватно соотнесены с принятой моделью вулканической активности.

Заключение

Как показывают проведенные исследования, метод куста событий, являющийся на данный момент основным методом инженерии динамических знаний, хорошо адаптируется для задач поддержки совместных научных исследований. Получаемый в результате применения данного метода графический конструктор (куст событий) легко разбивается на объекты различной сложности, каждый из которых соответствует тому или иному блоку знаний. Синтаксис и семантика куста событий облегчают задачу связывания с этим блоком знаний специалистов в предметной области с сохранением того интеллектуального пространства, в котором они были созданы.

Несмотря на то, что еще не создано специализированное программное обеспечение, позволяющее строить кусты событий, существующая компьютерная реализация данного метода в виде обыкновенной векторной графики легко внедряется через формат SVG в среду поддержки совместных научных исследований COLLA.

Данный подход был опробован на примере двух актуальных задач наук о Земле – оценки сценариев развития геологических катастроф, связанных с извержением одного из самых опасных европейских вулканов (Этны) и одного из самых опасных эффектов, возникающих при землетрясениях (эффекта местоположения). Созданные проекты позволили значительно повысить качество научной дискуссии и структурировать соответствующие области знания под решение конкретных задач, интересующих исследователей. Формализованное сравнение и количественная оценка сходства–различия обстановок и объектов на основе метода куста событий позволяют существенно повысить надежность экспертных оценок в науках о Земле.

Литература

1. Diviacco P. Addressing conflicting cognitive models in collaborative e-research: a case study in exploration geophysics / In: Collaborative and Distributed E-Research: Innovations in Technologies, Strategies and Applications. IGI Global, 2012. P. 247–275.
2. Kuhn T.S. The Structure of Scientific Revolutions. University of Chicago Press, 1962. 226 p.
3. Lakatos I., Musgrave A. Falsification and the methodology of scientific research programmes // Criticism and the Growth of Knowledge. Cambridge University Press, 1970. P. 91–195.
4. Star S.L., Griesemer J.R. Institutional ecology, 'translations' and boundary objects: amateurs and professionals in Berkeley's museum of vertebrate zoology // Social Studies of Science. 1989. V. 19. N 3. P. 387–420.
5. Gavrilova T., Bolotnikova E., Leshcheva I., Blagov E., Yanson A. Measuring psychological impact on group ontology design and development: an empirical approach // Communications in Computer and Information Science. 2013. V. 394. P. 29–43.
6. Sowa J.F. Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations. Brooks/Cole Publ., 2000. 594 p.
7. Martin P. Knowledge representation in CGLF, CGIF, KIF, Frame-CG and Formalized-English // Lecture Notes in Computer Science. 2002. V. 2393. P. 77–91.

8. Pshenichny C.A., Mouromtsev D.I. Representation of the event bush approach in terms of directed hypergraphs // Lecture Notes in Computer Science. 2013. V. 7735. P. 289–300.
9. Pshenichny C.A., Kanzheleva O.M. Theoretical foundations of the event bush method // Special Paper of the Geological Society of America. 2011. V. 482. P. 139–164.
10. Соломин К.И., Пшеничный К.А. Опыт применения метода куста событий для анализа исторического контекста // Сборник трудов молодых ученых, аспирантов и студентов научно-педагогической школы кафедры ПБКС «Информационная безопасность, проектирование и технология элементов и узлов компьютерных систем» / Под ред. Ю.А. Гатчина. СПб: НИУ ИТМО, 2013. Вып. 1. С. 91–100.
11. Pshenichny C.A., Nikolenko S.I., Carniel R., Vaganov P.A., Khrabrykh Z.V., Moukhachov V.P., Akimova-Shterkhun V.L., Rezyapkin A.A. The event bush as a semantic-based numerical approach to natural hazard assessment (exemplified by volcanology) // Computers and Geosciences. 2009. V. 35. N 5. P. 1017–1034.
12. Diviaco P., Pshenichny C.A., Carniel R., Behncke B. A case study of the use of event bushes as a formal representation for computer-supported collaborative work in the geosciences // European Geoscience Union General Assembly. 2011. V. 13. EGU2011–1893.
13. Behncke B., Pshenichny C. Modeling unusual eruptive behavior of Mt. Etna, Italy, by means of event bush // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2009. V. 185. N 3. P. 157–171.
14. Кантор Г. Труды по теории множеств. М.: Наука, 1985. 431 с.
15. Александров П.С. Введение в теорию множеств и общую топологию. М.: Наука, 1977. 368 с.
16. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. 7-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 572 с.

- | | |
|-------------------------------------|---|
| <i>Дивьякко Паоло</i> | – PhD, научный сотрудник, Национальный институт океанографии и экспериментальной геофизики, 34010, Триест, Италия, pdiviacco@ogs.trieste.it |
| <i>Пшеничный Кирилл Анатольевич</i> | – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия, cpshenichny@yandex.ru |
| <i>Бенке Борис</i> | – PhD, научный сотрудник, Национальный институт геофизики и вулканологии Италии, Катанийский филиал, 95125, Катания, Италия, Boris.behncke@nosпамct.ingv.it |
| <i>Канжелева Оксана Михайловна</i> | – PhD, независимый исследователь, Редмонд, США, Oksana.kanzheleva@gmail.com |
| <i>Paolo Diviaco</i> | – Scientific researcher, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, 34010, Trieste, Italy, pdiviacco@ogs.trieste.it |
| <i>Cyril A. Pshenichny</i> | – PhD, Associate professor, ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia, cpshenichny@yandex.ru |
| <i>Boris Behncke</i> | – PhD, scientific researcher, Sezione di Catania, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 95125, Catania, Italy, Boris.behncke@nosпамct.ingv.it |
| <i>Oksana M. Kanzheleva</i> | – PhD, Independent researcher, 98000-98099, Redmond, USA, Oksana.kanzheleva@gmail.com |

Принято к печати 23.04.14
Accepted 23.04.14