

ГОРНАЯ ГЕОИНФОРМАТИКА

УДК 004.21, 004.9 + 551 + 622

ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГОРНОЙ ГЕОИНФОРМАТИКИ

И. В. Бычков¹, В. Н. Опарин², В. П. Потапов³

¹*Институт динамики систем и теории управления СО РАН,
ул. Лермонтова, 134, 664033, г. Иркутск, Россия*

²*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

³*Кемеровский филиал Института вычислительных технологий СО РАН,
ул. Рукавишниковая, 21, 650025, г. Кемерово, Россия*

Представлен новый подход к реализации геоинформационной среды для решения задач горной геоинформатики, базирующийся на облачных технологиях. Рассматриваются виды облачного сервиса применительно к созданию распределенных геомониторинговых систем, ориентированных на широкий круг задач горного дела. Описаны конкретные структуры для программной реализации разрабатываемого подхода, приводятся примеры решения задач применительно к различным разделам горной информатики.

Задачи горной геоинформатики, облачные технологии, мониторинговые системы, геомеханико-геодинамическая безопасность, экология, сейсмические события

Горная геоинформатика как раздел наук о Земле сформировалась в конце 70-х годов прошлого столетия благодаря работам, связанным с использованием ЭВМ для решения задач горного дела, и нашла свое отражение в современной классификации горных наук [1]. В те годы, в связи с началом активного применения ЭВМ в горном деле, горная геоинформатика в основном развивалась в направлении формирования конкретной вычислительной среды для решения таких задач, как оценка геомеханического состояния горного массива при техногенном воздействии, аэрология систем горных выработок, оптимизация технологических параметров добычи полезных ископаемых и др.

С появлением персональных компьютеров возможности горной информатики стали быстро расширяться. Начали формироваться первые информационно-вычислительные комплексы, базирующиеся на локальных вычислительных сетях; проектные институты стали разрабатывать и применять первые системы горного проектирования, ПЭВМ начали широко использоваться для создания АСУ и АСУТП горных предприятий. В это же время стали развиваться мониторинговые системы процессов и систем горного производства.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13-05-98091) и в рамках реализации партнерского Интеграционного проекта СО РАН № 100.

В настоящее время необходима оценка перспектив развития горной информатики как раздела горных наук с учетом тех изменений, которые произошли за минувшие и особенно в последние годы в области информационно-вычислительных технологий. Авторами сделана попытка изложить новый подход к развитию горной геоинформатики, опираясь в первую очередь на результаты, отраженные в работах [2–5].

О СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ ГОРНОЙ ГЕОИНФОРМАТИКИ

Особенностями современного этапа развития горной геоинформатики являются [4–7]:

- накопление значительного количества разнообразных баз данных по отдельным направлениям горных наук, используемых, в основном, в одной организации;
- создание специализированных геомониторинговых систем, которые практически очень сложно или невозможно интегрировать в рамках региона или страны;
- широкое использование систем автоматизированного проектирования на основе различных моделей горнопромышленных комплексов;
- создание систем активной диспетчеризации горнодобывающего оборудования, генерирующих значительные информационные потоки, которые хранятся, но часто не анализируются;
- использование классических геоинформационных систем для описания свойств и процессов массива горных пород, подвергаемого техногенному воздействию;
- создание и применение приборов нового класса, которые осуществляют комплексные замеры геодинамических и газодинамических характеристик и генерируют большие массивы цифровых данных;
- использование систем дистанционного зондирования Земли, которые позволяют проводить оценку геомеханического и геоэкологического воздействия горных предприятий на больших площадях, а не в отдельных “точках” замера;
- разработка сложных программно-вычислительных комплексов для решения широкого класса задач геомеханики, аэрогазодинамики, гидродинамики в разнообразных горнотехнологических условиях.

Активно формируются новые направления применения и развития горной информатики.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Одним из основных подходов к разработке современных систем горной геоинформатики является создание нового поколения распределенных геоинформационно-вычислительных систем с использованием облачного подхода [8]. В настоящее время распределенные информационно-вычислительные системы широко используются как для научных исследований, так и для решения широкого круга производственных задач.

Взросшие вычислительные мощности компьютерных систем позволяют моделировать сложнейшие природные и технологические процессы, получая новые фундаментальные знания, а также принимать ответственные решения, особенно в случаях катастрофических ситуаций. За рубежом и в России активно развиваются так называемые GRID-системы [9], реализующие принципы распределенных вычислений на удаленных кластерах суперкомпьютеров и значительно увеличивающие возможности применения вычислительных систем. Однако при этом становится очевидным и то, что даже при наличии достаточных вычислительных ресурсов их использование зачастую не приносит ожидаемых результатов.

Для поддержки и сопровождения программных и аппаратных средств требуется создание новых подразделений. Получение новых версий программного обеспечения и обслуживание технических средств также требует значительных дополнительных расходов. В то же время в

большинстве случаев загрузка вычислительных мощностей оказывается недостаточной. Отметим, что с подобными проблемами эффективного использования дорогостоящих вычислительных ресурсов при решении разнообразных задач в науке и технике постоянно встречаются практически все развитые государства мира.

Решение этой проблемы связывается с поиском и разработкой методов коллективного использования распределенных вычислительных ресурсов. В этом случае, наряду с ожиданием понижения финансовых затрат, большое значение приобретает эффективное использование высокопроизводительных параллельных и распределенных методов вычислений.

Такой подход становится доминирующим при решении комплексных проблем. Так, при решении сложных и больших по объему задач механико-математического моделирования (трехмерные задачи оценки геодинамического состояния, термогазодинамические расчеты для сложной системы горных выработок, оценка геоэкологического состояния больших горнопромышленных регионов и многие другие) вычислители активно используют идеи распараллеливания вычислений [10]. Под этим понимается применение сильно- и слабосвязанных параллельных систем и распараллеливание самих математических методов решения.

Задачи, возникающие при сборе, хранении и обработке больших массивов структурированной информации в системах управления базами данных, в свое время привели к построению концепции распределенных баз данных, совместно работающих на различных компьютерах, объединенных в единую информационно-вычислительную сеть [9]. До последнего времени практическое применение распределенных программных комплексов было затруднено из-за недостаточной вычислительной мощности имеющихся технических средств и неразвитости протоколов связи распределенных приложений.

Однако в последние годы ситуация существенно изменилась. В современных программных технологиях все больше внимания стало уделяться эффективным методам построения распределенных программных систем, когда различные ее части функционируют в сети ЭВМ, использующих различные программные и аппаратные платформы [8]. Причем различные модули таких систем могут создаваться и существовать независимо, объединяясь в единое целое только в процессе конкретного применения. Реальные возможности глобальной сети Интернет позволяют резко увеличить число пользователей распределенных вычислительных мощностей, организовать совместную разработку параллельных вычислительных алгоритмов для решения конкретных задач, формируя специализированные GRID-системы.

Однако и в этом случае ограниченная пропускная способность каналов и большие расстояния, особенно в России, существенно тормозят развитие подобных систем. Кроме того, привычная информационно-вычислительная среда претерпевает значительные изменения и пользователей уже не устраивают результаты расчетов, которые не интерпретируются графически или с помощью мультимедийных средств. Создание больших хранилищ данных, которые накоплены в различных организациях, также требует создания новых видов информационно-вычислительного сервиса для доступа к ним, их интеграции и интерпретации данных на уровне методов извлечения знаний.

В связи с этим в ведущих странах мира развиваются новые системы распределенных вычислений, называемые облачными [11]. **Обычно облачные вычисления предполагают комплекс требований по предоставлению услуг (сервисов) через Интернет.** Здесь отличие от GRID-подхода связано с тем, что облака можно строить как в глобальных, так и в локальных сетях, ориентируясь на их конкретную специфику и предоставляемые типы услуг. Это особенно важно для закрытых корпоративных систем.

В облаках появляется возможность предоставления услуг и управления вычислительной мощностью путем перераспределения их конкретным пользователям в задаваемое время. Их использование позволяет представлять необходимое программное обеспечение, решая тем самым вопросы, связанные с лицензированием программных продуктов. Это, конечно, не касается широко распространенных офисных систем, но дорогостоящие программные продукты могут быть использованы с применением облачных сервисов. Особенностью и важным свойством таких систем является динамичность облака: в любое время можно изменить его конфигурацию, подключая дополнительные сервисы и организуя интерактивный доступ к ним. При этом один сервер может быть преобразован во множество виртуальных машин, тем самым снимая ограничения клиент-серверной архитектуры.

В современных условиях, когда в наличии имеются достаточно развитые межрегиональные сети, объединяемые в телекоммуникационные структуры и использующие Интернет в качестве рабочей среды, актуализируется задача эффективности их работы. В большинстве случаев эти сети нужны для коммуникаций между различными организациями (системы телеконференций с выходом во внешний мир), а также для получения информации из глобальной сети и, достаточно редко, для проведения удаленных расчетов (когда не хватает вычислительных мощностей). В то же время в ряде институтов СО РАН начинают пользоваться облачными подходами, ориентируясь на специфические услуги, которые необходимы большому количеству исследователей. Практически все институты СО РАН имеют уникальные базы данных, потенциально или реально интересные для многих ученых мира.

В рамках создания единой телекоммуникационной структуры СО РАН, которая сформировалась за последние годы, рядом институтов ведутся работы по созданию распределенных геоинформационных систем с применением облачного подхода для решения широкого круга задач горного производства [2 – 7].

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ РЕАЛИЗАЦИИ ОБЛАЧНОГО ПОДХОДА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ГОРНОЙ ГЕОИНФОРМАТИКЕ

Облачный подход и соответствующие ему информационные технологии реализуются с помощью набора некоторых сервисов. Такой набор включает в себя следующие основные позиции.

Программное обеспечение как сервис (SaaS — Software as a Service). Для этого вида предоставляемых услуг необходимо иметь определенный реестр имеющегося программного обеспечения. В большинстве случаев это конкретные вычислительные модули, работающие в режиме одиночного доступа. Решаются задачи подготовки исходных данных для расчетов с учетом их местоположения, формата обмена и т. п. Иногда в облаках выделяется особый вид сервиса: данные как сервис (**DaaS — Data as Service**), который в распределенном режиме может быть реализован с помощью так называемых Mashup технологий [12].

Приведем конкретный пример расчетов по проблеме очистки вод закрытых шахт. На протяжении многих лет для этих целей приходилось нанимать разработчиков модели, которую они рассчитывали в закрытом режиме, определенным образом подготавливая соответствующие данные и выдавая результаты расчетов, которые потом сравнивались с экспериментом. Реализация тех же моделей в облачном режиме существенно упростила технологию решения данной задачи и позволила привлечь к ней внимание заинтересованных пользователей [2]. В настоящее время разработчики могут убедиться, что именно облачная организация предоставит им больше возможностей и отвлечет от рутинной вычислительной работы. Причем правильно организованный сервис должен способствовать устранению дублирования разработок, когда одни и те же вычислительные модели разрабатываются в различных организациях.

Рабочее место как услуга (Workspace as a Service). Здесь реализуется программное обеспечение, направленное на решение конкретной задачи либо класса задач и предназначенное для выполнения удаленных расчетов. При этом пользователь (по умолчанию) принимает правила подготовки данных, представления расчетов, загрузки баз данных и т. п. Этот вид сервиса, по существу, является частным случаем SaaS и он рекомендуется к использованию при реализации горных геоинформационных систем.

Платформа как сервис (PaaS — Platforme as a Service). Она обычно представляется в виде связующего программного обеспечения, осуществляющего доступ к базам данных на основе системы управления базами данных (СУБД). Примером такого сервиса может служить библиотека MPI на вычислительных кластерах, интерфейс к базам геоданных на основе Oracle Spatial и др. Данный вид сервиса существует и доступен в телекоммуникационной среде СО РАН [10]. Например, из г. Кемерово проводились некоторые предметно ориентированные теоретические расчеты на Иркутском кластере, а в настоящее время разрабатываются вычислительные модули по решению актуальных геомеханических и технологических задач затопления шахт, подземной газификации и др.

По мнению разработчиков, наиболее употребительный вид сервиса, который можно реализовать достаточно быстро (имея в виду уже наработанное программное обеспечение), — это решение сложных многомерных геомеханико-геодинамических задач. В данном случае организаторами горно-геоинформационного облака необходимо разработать соответствующий регламент имеющихся услуг и способы их представления клиентам. Такой вид сервиса может быть корпоративным и будет определяться кругом решаемых проблем.

Инфраструктура как сервис (Infrastructure as a Service — IaaS). Она включает в себя аппаратные средства и технологию для компьютерных вычислений и хранения данных, операционные системы и другую инфраструктуру, которые предоставляются не как локальные ресурсы, а опосредованно – через обращение к сервисам, размещенным на стороне провайдера. Имеется также модель для аппаратных средств как сервис (**Hardware as a Service — HaaS**), являющаяся близким подтипом модели IaaS.

В настоящее время это наименее подготовленный вид сервиса, так как он должен формироваться интегрально и на основе предыдущих типов услуг. Данный вид сервиса в информационном облаке требует значительных организационных, правовых и финансовых усилий, и для его осмысления необходимо провести ряд работ по региональным научным центрам Сибири в рамках единой идеологии облачных вычислений. Последовательность действий по созданию такого сервиса включает в себя ревизию и формирование двух предыдущих видов сервиса по научным центрам СО РАН, с последующей интеграцией их на уровне конкретного исследовательского института.

Необходимость организации вычислительных облаков применительно к горной информатике диктуется следующими обстоятельствами. *Во-первых*, облачные вычисления позволят повысить эффективность работы в системе, предоставить общие информационные ресурсы, гибко интегрировать их для решения специализированных задач, набирая и комбинируя их в виртуальных кластерах данных, быстро задействовать новые мощности и оптимизировать необходимые финансовые инвестиции. *Во-вторых*, существенным преимуществом такой структуры должно стать представление новых уникальных информационно-вычислительных услуг, интегрирующих в информационном облаке работы, например, Сибирского отделения РАН. *В-третьих*, ожидаем синергетический эффект: интеграция отдельных ресурсов позволит получить качественно новые услуги, которые по отдельности не может представить ни одна из научных организаций СО РАН.

Так, интегрируя имеющиеся хранилища данных по угольной промышленности Кузбасса, информационную базу спутниковых снимков ИВТ СО РАН и разработанные вычислительные геомеханические модули ИГД СО РАН, можно за достаточно короткое время создать уникальную мониторинговую систему “Геомеханико-геодинамической безопасности России” и, в частности, Сибири [13, 14].

Облачная информационная структура такой системы позволит удешевить затраты как программного обеспечения для ее функционирования в целом, так и отдельных пользователей. Особенно это актуально для пользователей геоинформационных систем: аренда уже имеющихся активов не требует создания собственных центров по сбору и обработке геоинформации, и пользователю становится ненужным приобретение необходимого (но уже “дублирующего”) программного обеспечения и аппаратных средств, что экономит значительные финансовые средства. Здесь следует лишь определиться с необходимыми для применения программами и приобрести их централизованно, обеспечив к ним соответствующий доступ.

Создание информационного облака открывает пользователям возможность работы с наиболее современными вычислительными системами и не содержать при этом в штате квалифицированных программистов и системных администраторов. В данном случае основная ответственность и финансовые затраты ложатся на провайдера подобного рода услуг, а созданием специализированных сервисов могут заниматься любые организации-пользователи, в том числе и институты РАН (обладатели авторского права).

Оптимизация структуры и содержания корпоративных данных и вычислительных кластеров, к которым организуется сервисный доступ, позволяет устранить “фрагментацию” самой телекоммуникационной сети, что способствует более четкому прогнозированию капиталовложений на ее осуществление. Доступ к ресурсам информационного облака осуществляется с помощью стандартных программных средств, но при этом необходимо создать соответствующие метаописания для анализируемых процессов и данных в облаке. Исследования и разработки в указанном направлении в СО РАН являются одними из наиболее развитых. Многие исследовательские организации, занимающиеся телекоммуникационными ресурсами, к этому готовы и требуется лишь их соответствующее организационное оформление и финансовое обеспечение.

Отдельного рассмотрения требуют проблемы безопасности, а также интеллектуальной собственности, которые уже возникли и будут проявляться на стадии реализации информационных облачных технологий. Эти вопросы важны, и их решение должно основываться на уже имеющихся системах телекоммуникационной структуры. При этом основная часть вопросов будет сосредотачиваться у провайдера, который, имея более квалифицированные кадры, разрешит их по “мере поступления”. Решение проблемы интеллектуальной собственности облегчается тем, что облачная система организации информации и технологии ее обработки предполагает, что сама собственность остается у разработчика, а не передается пользователям.

Одним из преимуществ облачной геоинформационной системы является то, что с ее помощью можно интегрировать знания, накопленные специалистами различных наук, и формировать соответствующие метазнания, которые представляются в форме услуг. Для примера отметим результаты исследований по интеграционным междисциплинарным проектам СО РАН [4, 6, 7, 15]. Результаты таких исследований, помимо академического сообщества, могут представить более широкий интерес, который легко реализовать в рамках облачных информационных технологий, например для преподавателей вузов или служб геомеханико-геодинамической

безопасности на горнодобывающих предприятиях России и мира. Сформировав соответствующие метазнания, которые позволили бы работать в режиме On Demand, можно получить уникальную структуру международного облачного сервиса.

Достоинством такого подхода является также и то, что на первом этапе можно выстраивать систему независимых геоинформационных облаков, организуя затем иерархическую или сетевую структуру, состоящую из множества подоблаков, каждое из которых может либо быть проблемно-ориентированным, либо отражать специфику конкретного регионального центра [3, 5]. С точки зрения технологий создания необходимого программного обеспечения элементы облачного сервиса можно организовывать как специализированные web-порталы, расширяя впоследствии список услуг за счет использования соответствующего программного обеспечения, доступ к которому представляется через web-интерфейс. Учитывая, что системы тарификации и биллинга в Интернете достаточно развиты, вопросы проведения взаиморасчетов между клиентами системы и центром информационного облака реализуются на этой основе достаточно просто.

Ниже рассмотрим некоторые примеры конкретных реализаций геоинформационного облачного подхода по созданию современных систем горной геоинформатики.

О СИСТЕМЕ ГЕОМЕХАНИКО-ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КУЗБАССА И ЕЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ

Кемеровская область — один из крупнейших горнодобывающих регионов России — находится в тектонически активном обрамлении Алтае-Саянской складчатой области со сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями ведения открытых и подземных горных работ. Как следствие, на территории Кузбасса периодически происходят природные и техногенные землетрясения разного энергетического класса, оползневые процессы и другие динамические события, приводящие к нарушению нормального функционирования рудников, угольных шахт и разрезов [4, 15]. Это, в свою очередь, влечет за собой большой экономический ущерб как для владельцев горнодобывающих предприятий, так и для бюджета Кемеровской области, нередко внося известную социальную напряженность.

Особую актуальность приобретает проблема создания методологических основ построения многослойных мониторинговых систем геомеханико-геодинамической безопасности для горнодобывающих районов в тектонически активных зонах [16]. Их формирование — неперемное условие для создания многослойной геоинформационной мониторинговой системы “Геомеханико-геодинамической безопасности России” в целом [13, 14], состоящей из трех основных и по необходимости комплексных базовых геоинформационных слоев: подземного, наземного и надземного.

В формировании “подземного” геоинформационного слоя большое значение уделяется совместной регистрации разного энергетического уровня природной и техногенной сейсмичности в режиме реального времени [4, 6, 7, 15]. В связи с активным развитием основ теории волн маятникового типа [4, 6, 7, 13–21] все большее число исследователей рассматривают сейсмический процесс в формирующихся очаговых зонах катастрофических событий как существенно детерминированный [6, 7, 9–21]. Это позволило впервые в работе [22] ввести энергетическую в своей основе функцию сканирования сейсмической информации, касающейся как природных, так и техногенных источников излучения сейсмических волн. По существу, появились основания для использования траекторий приведенных центров сейсмоэнерговыведения (аналога центра масс в механике) при анализе нелинейных геомеханических процессов в сложных геосредах, связанных с формированием очаговых зон будущих катастрофических событий, в том числе и при их моделировании на образцах горных пород [23].

В настоящее время для территории Кузбасса имеются определенные трудности в получении надежных данных о сейсмических событиях, необходимых для определения траекторий миграции приведенных центров сейсмоэнерговыведения. Для решения этой задачи в ИВТ СО РАН выполнен поиск источников, предоставляющих информацию о сейсмических событиях для территории Кемеровской области [2, 3]. Он позволил выбрать сайт Центра данных Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан (Центр данных ИГИ НЯЦ РК, Республика Казахстан, www.kndc.kz). Получаемые данные обрабатываются и публикуются на указанном сайте в открытом доступе с предоставлением возможности их загрузки по стандартным протоколам через сеть Интернет.

Принимая во внимание географическую удаленность источника данных от средств их автоматизированной обработки, принято решение о разработке информационной системы с применением технологии облачных вычислений. В этом случае ключевые компоненты (источники данных, аналитические модули и средства интерпретации данных) объединяются в “облако”, доступное в рамках глобальной сети Интернет. Пользователь получает возможность решать интересующие его задачи, общаясь исключительно с web-интерфейсом, не вникая в особенности реализации вычислительного ресурса и пространственного распределения его элементов.

Это позволило авторам [2, 4] решить задачу мониторинга траектории миграции приведенного центра сейсмоэнерговыведения по заданной территории в Кузбассе с использованием облачного подхода. Здесь, после прохождения процедуры авторизации, сервер приложений отправляет запрос картографическому серверу на генерацию и отображение электронной карты. Пользователь с помощью специального инструмента выделяет интересующую его территорию в пределах Кузбасса, для которой требуется построить траекторию движения приведенного центра сейсмоэнерговыведения за определенный период времени. На основе отмеченных действий пользователя формируется запрос для получения соответствующих данных с сайта Центра данных ИГИ НЯЦ РК в виде бюллетеней.

Каждый сейсмологический бюллетень представляет собой текстовый файл, содержащий записи о сейсмических событиях в формате IASPEI Seismic Format (ISF), состоящие из полей: дата, время, географическое местоположение, азимут, глубина, магнитуда, энергетический класс и др. Загруженные сейсмобиюллетени проходят предварительную обработку, в ходе которой из них выделяются сейсмособытия, попадающие в границы Кемеровской области, и отсекаются “избыточные” для решения поставленной задачи данные.

Промежуточные результаты передаются в виде матрицы параметров вычислительному кластеру для расчетов приведенных центров сейсмоэнерговыведения, например по каждому календарному месяцу. Полученные данные являются дискретными, содержат географические координаты (долгота/широта) и могут быть отображены на электронной карте. Они передаются на уровень web-интерфейса для последующей отрисовки в виде полилинии траектории движения приведенных центров сейсмоэнерговыведения на электронной карте.

Используя возможности созданного “облака”, построена траектория миграции приведенного центра сейсмоэнерговыведения для Араличевского геолого-экономического района, которая представлена на рис. 1 [2, 4].

Как отмечено в [2, 4], приведенный график “миграции” сейсмособытий с огибанием правобережных районов г. Новокузнецка свидетельствует о возникновении техногенной сейсмичности в этой части города, индуцированной строительными работами (район промышленной застройки).

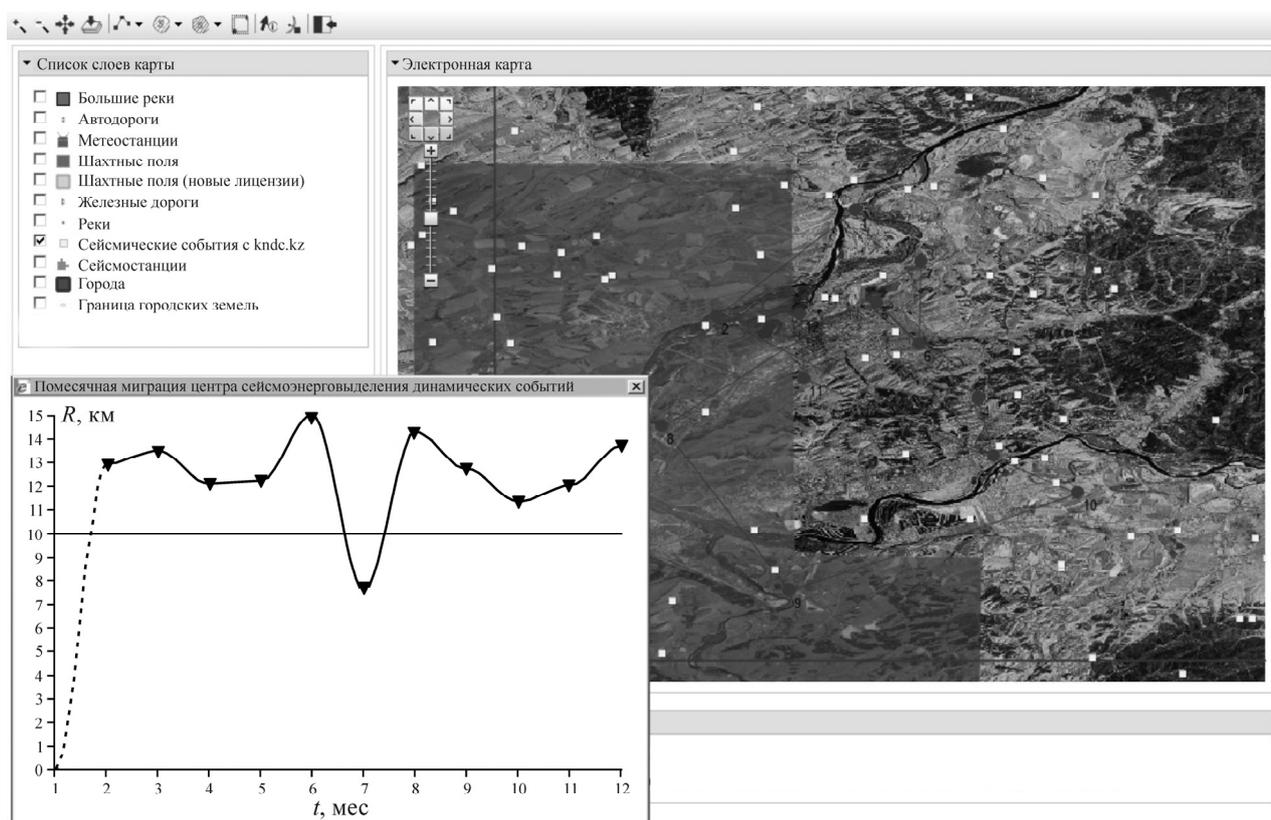


Рис. 1. Траектория “миграции” приведенного центра сейсмоэнерговыведения (помесячно) в районе г. Новокузнецка (Кемеровская область)

ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Как уже отмечалось, достоинством облачного подхода является возможность использования различных источников, интегрируемых в рамках информационного облака. В качестве другого примера рассмотрим технологию реализации информационно-аналитической системы геоэкологического мониторинга для любого горнопромышленного региона, в котором проводится разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом. Эти системы имеют, как правило, в своей основе разные источники информации, такие, например, как:

- горно-технологическая информация по разрабатываемому участку;
- экспериментальные данные по оценке состояния водной, воздушной среды и почвы;
- технологические карты, отражающие динамику ведения горных работ;
- сейсмические данные для оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород;
- данные по состоянию биоценоза;
- данные по социально-экономической обстановке в районах области и т. п.

Эти информационные данные могут располагаться в различных местах и иметь собственные структуры хранения, что не имеет существенного значения в технологиях облачных вычислений. Для каждого набора данных имеются свои специализированные программные модули для численного расчета соответствующих параметров, связанных с оценкой состояния окружающей среды. В рамках классического геоинформационного подхода требуется разработка в модели “клиент–сервер” соответствующего программного обеспечения, что сопряжено со

значительными трудозатратами. Кроме этого, понадобились бы программная стыковка на уровне создания соответствующего хранилища данных, интегрирующего источники геоинформации, и организация программных интерфейсов для работы с расчетными модулями.

Предлагаемая нами концепция разработки прикладных систем для решения задач горной геоинформатики на основе облачного подхода позволяет не только существенно упростить их создание, но и расширить круг решаемых проблем. Как пример реализации предлагаемого подхода, рассмотрим созданную систему геоэкологического мониторинга на основе облачных сервисов для одного из угольных предприятий Кузбасса.

Для достижения целей, поставленных в данном проекте, необходимо было разработать современную распределенную информационно-вычислительную среду, которая позволила бы обеспечивать сбор и актуализацию разнообразных геоданных, а также использовать имеющиеся математические модели для анализа и интеграции формируемых с ее помощью информационных потоков в целях принятия оптимальных управленческих решений, в том числе и связанных с оценкой геоэкологического состояния в районе проводимых горных работ. Общая схема разработанного прототипа системы на основе облачного сервиса представлена на рис. 2.

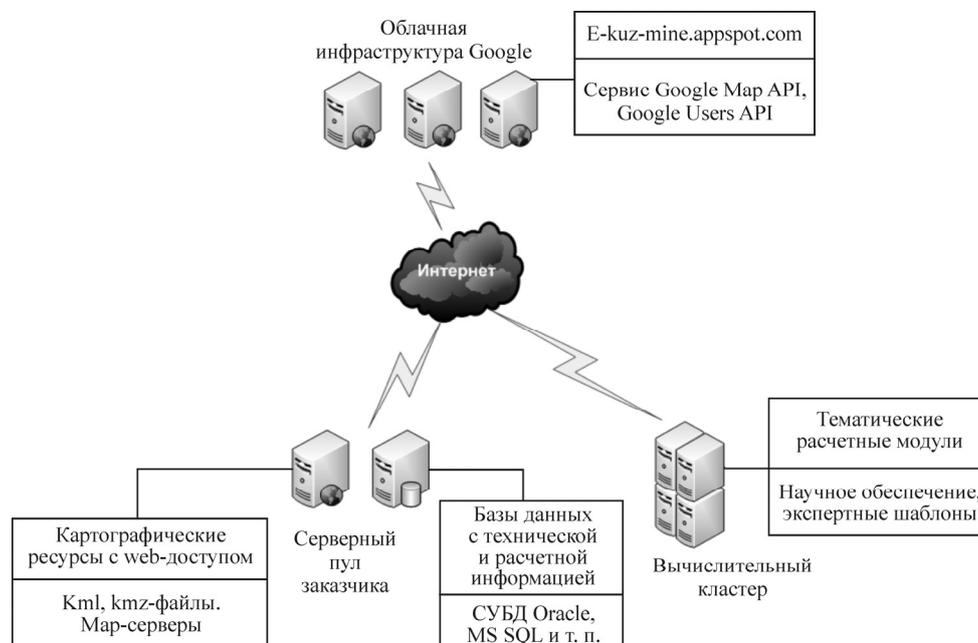


Рис. 2. Общая схема информационного обеспечения системы геоэкологического мониторинга на основе облачного сервиса

Облачный сервис представляет собой особую клиент – серверную технологию — использование клиентом ресурсов (процессорное время, оперативная память, дисковое пространство, сетевые каналы, специализированные контроллеры, программное обеспечение и т. д.) группы серверов в сети, взаимодействующих таким образом, чтобы:

- для клиента вся группа выглядела как единый виртуальный сервер;
- клиент мог прозрачно и с высокой гибкостью менять объемы потребляемых ресурсов в случае изменения своих потребностей (увеличивать/уменьшать мощность сервера с соответствующим изменением оплаты за него).

При этом наличие нескольких источников используемых ресурсов, с одной стороны, позволяет повышать доступность системы клиент – сервер за счет возможности масштабирования при повышении нагрузки (увеличение количества источников данного ресурса пропорционально

увеличению потребности в нем и/или перенос работающего виртуального сервера на более мощный источник, “живая миграция”), а с другой — снижает риск неработоспособности виртуального сервера в случае выхода из строя какого-либо из серверов, входящих в группу, обслуживающую данного клиента, так как вместо вышедшего из строя сервера возможно автоматическое переподключение виртуального сервера к ресурсам другого (резервного) сервера.

Технологическим ядром информационной системы служит среда **Google App Engine**, позволяющая создавать web-приложения с помощью стандартных технологий Java и выполнять их на масштабируемой инфраструктуре Google. Среда Java представляет виртуальную машину Java 6 (JVM), интерфейс Java-сервлетов и поддержку стандартных интерфейсов для масштабируемого хранилища данных и служб App Engine, таких как JDO, JPA, JavaMail и JCache. Поддержка стандартов упрощает разработку приложения и делает понятным портирование приложения как из собственной среды сервлетов, так и вне ее.

В качестве средств разработки используется свободно распространяемое программное обеспечение (ПО) плагин Google для Eclipse, который добавляет в Eclipse IDE для проектов App Engine новые мастера проектов и конфигурации отладки. Благодаря Google Web Toolkit (GWT), App Engine для Java существенно упрощает разработку и развертывание web-приложений международного уровня. Плагин Eclipse связан с App Engine и SDK GWT. App Engine выполняет приложения Java с помощью виртуальной машины Java 6 (JVM). SDK App Engine поддерживает Java 5 или более поздней версии. JVM Java 6 также может использовать классы, сформированные с помощью компилятора любой версии до Java 6. App Engine использует для web-приложений стандарт Java Servlet, которые являются связующим звеном всех компонентов системы. В стандартной структуре каталогов WAR представляет классы сервлетов приложения, страницы JavaServer (JSP), статические файлы и файлы данных вместе с дескриптором развертывания (файл web.xml) и другими файлами конфигурации. App Engine выполняет запросы, вызывая сервлеты в соответствии с дескриптором развертывания. JVM работает в защищенной среде, что позволяет изолировать приложение в целях обслуживания и безопасности. Среда позволяет удостовериться, что приложения могут выполнять только действия, не влияющие на производительность и масштабируемость других приложений.

Сервисом аутентификации предоставляется безопасный доступ к конфиденциальной информации, который обеспечивается за счет средств Google Users API. Платформа Google App Engine имеет тесную интеграцию с аккаунтами Google: приложения могут позволить пользователям авторизоваться с помощью существующих Google аккаунтов. Пользователи смогут быстрее приступить к работе с приложением, не регистрируясь еще раз специально на сайте, а разработчик получит возможность персонализировать приложение. Приложение может перенаправить пользователя на страницу входа и регистрации или позволит ему выйти из аккаунта. После того как пользователь проходит авторизацию, приложение может получить доступ к его адресу электронной почты и указанному псевдониму. Также можно определить, является ли пользователь администратором приложения и имеет ли он доступ в ограниченные разделы сайта, что позволит создать систему управления сайтом.

Картографический сервис дает возможность визуализировать предметную информацию на картах-подложках Google и программно разделен на две части: публичную и закрытую. В публичном доступе используется технология Google Maps API, предоставляющая открытый интерфейс функций по работе с картами Google. Данный функционал используется для картографических расчетов и координатной привязки закрытой информации как из данного сервиса, так и из сервисов баз данных и расчетных. Эта технология позволяет связать карты Google с

конкретным web-сайтом посредством уникального API-ключа. Объекты прикладного интерфейса содержат методы для подгрузки сторонних карт в формате KML/KMZ, что позволит использовать уже имеющуюся у заказчика картографическую информацию. Хостинг KML/KMZ-ресурсов расположен на web-сервере Apache.

В описываемой системе разработаны и представлены следующие тематические карты:

- мониторинг поверхностных вод;
- мониторинг подземных вод;
- мониторинг снегового покрова;
- типы ландшафтов (совмещенные с растительным покровом);
- типы почв;
- нарушенные земли;
- редкие и исчезающие виды растительности.

Сервис баз данных полностью базируется на компонентной модели используемых СУБД. Предлагается два открытых продукта: MySQL — для хранения и доступа текстовой информации, в том числе и расчетной, и PostgreSQL с поддержкой объектной модели PostGIS — для хранения картографической информации.

В данной системе разработаны и представлены базы данных: почвенного и растительного покрова; водных ресурсов; объектов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Расчетные сервисы содержат программную логику математических моделей предметной области, реализованной на базе технологий RPC, и разрабатываются в виде Java-сервлетов. Это позволяет интегрировать их с любым из вышеописанных сервисов системы.

Рассмотрим некоторые примеры реализации различных элементов интегрированной информационно-вычислительной системы для динамической оценки экологического состояния угледобывающего района Кузбасса. На рис. 3 приведено общее меню интегрированной информационной вычислительной системы геоэкологического мониторинга конкретного горного предприятия, разработанной на основе описанного подхода.

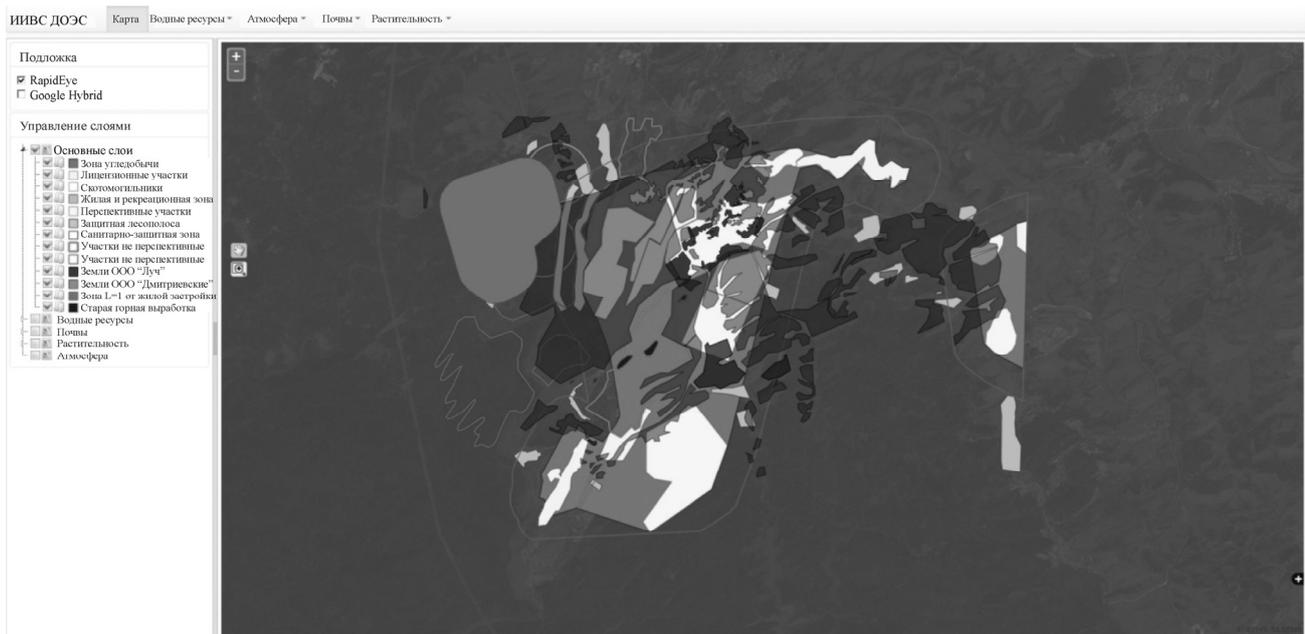


Рис. 3. Общий вид меню пилотного образца системы облачного сервиса для динамической оценки экологического состояния конкретного угледобывающего района Кузбасса

На рис. 4 и 5 представлены примеры расчетов и карт для динамической оценки экологического состояния угледобывающего района Кузбасса (п. Костенково). Так, на рис. 4 показан пример оценки выбросов и распространения загрязняющих веществ в атмосферу при промышленных взрывах с учетом реальной розы ветров, на рис. 5 — данные расчета пылевого загрязнения от промышленного взрыва, совмещенные с космическим снимком района исследований.

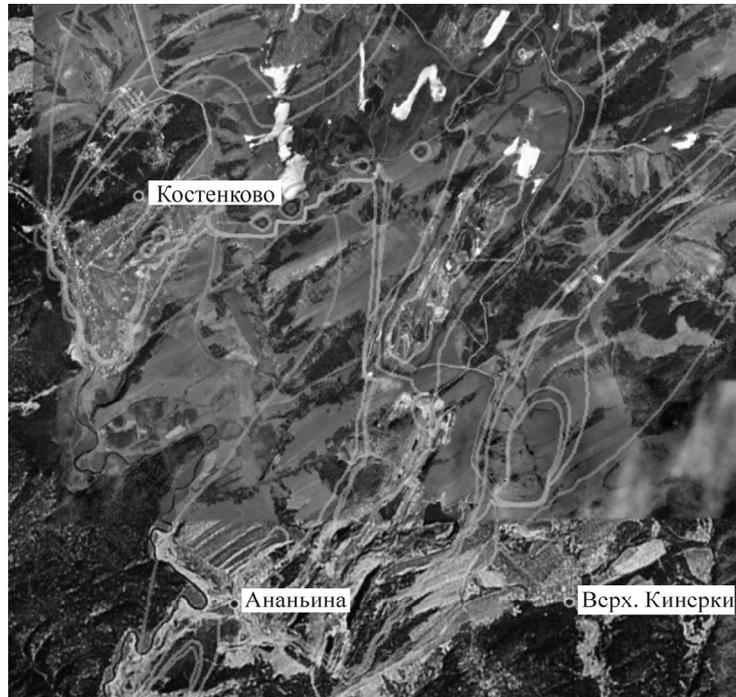


Рис. 4. Пример облачного расчета мест загрязнения от промышленного взрыва по разным веществам и конкретной розе ветров

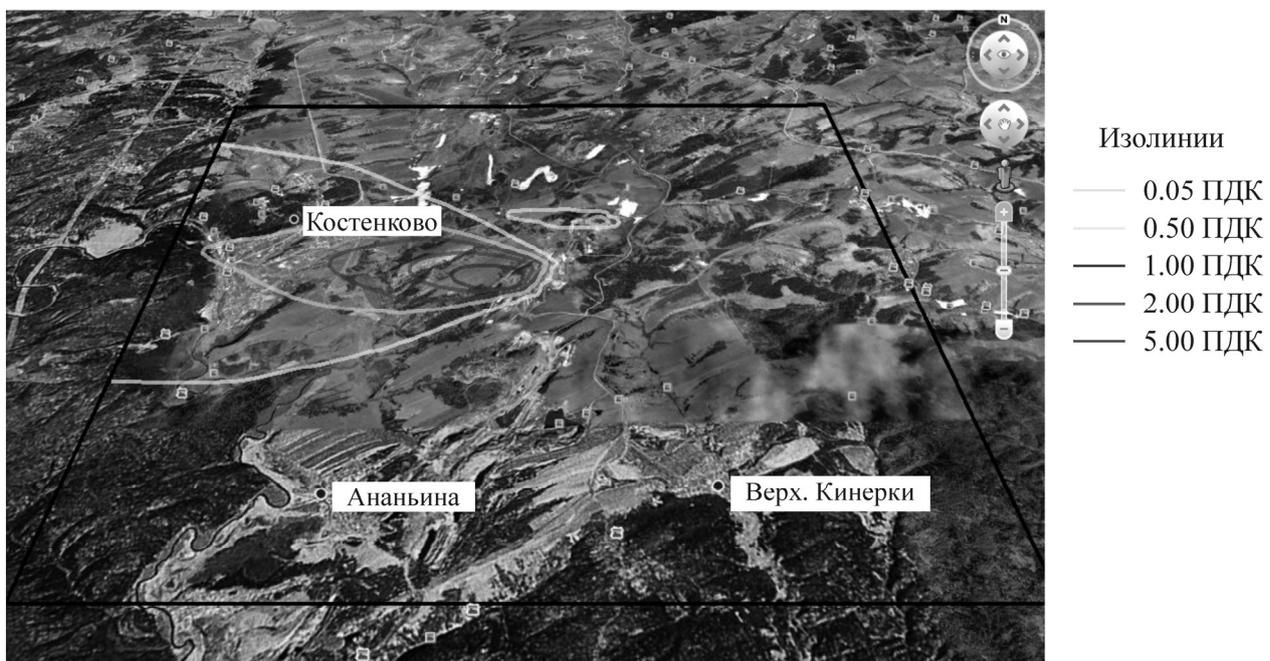


Рис. 5. Расчетные данные пылевого загрязнения от промышленного взрыва, совмещенные с космическим снимком района исследований

ВЫВОДЫ

Предлагаемый подход к созданию современных систем горной информатики позволяет на единой методологической основе разрабатывать универсальные распределенные информационно-вычислительные комплексы для решения разнообразных задач горного производства. При этом не регламентируются сами подходы к их решению и те информационные модели, которые необходимы для создания как прикладной, так и вычислительной среды. Сосредоточение внимания на уровне сервисов позволяет не думать о конкретной программной реализации, так как она может и должна быть разнообразной. Виртуализация самой прикладной области позволяет создавать своеобразные лаборатории, в которые погружается проблема и подбираются соответствующие инструменты. Исследователь освобождается от необходимости искать или конструировать инструменты или данные, он просто должен соответствующим образом подобрать необходимый вид сервиса и при необходимости разработать конкретный интерфейс для своей проблемы.

Рассматриваемый подход не является всеобъемлющим, однако он позволяет существенно упростить работу с геопространственными данными, что и демонстрируется на примерах решения ряда конкретных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Трубецкой К. Н.** Развитие горных наук и проблемы подготовки инженерных кадров в области освоения недр // Маркшейдерия и недропользование. — 2009. — № 6.
2. **Опарин В. Н., Потапов В. П., Попов С. Е., Замараев Р. Ю., Харлампенков И. Е.** Разработка распределенных ГИС-средств мониторинга миграций сейсмических проявлений // ФТПРПИ. — 2010. — № 6.
3. **Потапов В. П., Опарин В. Н., Логов А. Б., Замараев Р. Ю., Попов С. Е.** Геоинформационная система регионального контроля геомеханических ситуаций на основе энтропийного анализа сейсмических событий (на примере Кузбасса) // ФТПРПИ. — 2013. — № 3.
4. **Деструкция** земной коры и процессы самоорганизации в областях сильного техногенного воздействия. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012.
5. **Потапов В. П.** Математическое и информационное моделирование геосистем угольных предприятий. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999.
6. **Опарин В. Н., Багаев С. Н., Маловичко А. А. и др.** Методы и системы сейсмодеформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов. Т. 1. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009.
7. **Опарин В. Н., Багаев С. Н., Маловичко А. А. и др.** Методы и системы сейсмодеформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов. Т. 2. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010.
8. **OnLine Maps with API and Webservice.** Ed prof. Michael Peterson, Springer, New York, Heidelberg, 2012.
9. **April J. Wells.** Grid Applications System Design, Aerbach Publications, New York, 2008.
10. **Fayez Gebali.** Algorithm and Parallel Computing, A John Willey & Sons, Inc., Publition, New Jersy, 2011.
11. **Massino Cafaro, Giovanni Alliso (Eds).** Grids, Clouds and Virtualization, Springer, London, New York 2011.
12. **Raymond Yee.** Pro Web 2.0 Mashups: Remixing data and Web service, Ed. Matthew Moodie, Springer-Verlag, New-York, 2008.
13. **Адушкин В. В., Опарин В. Н.** От явления знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия — к волнам маятникового типа в напряженных геосредах. Ч. I // ФТПРПИ. — 2012. — № 2.
14. **Адушкин В. В., Опарин В. Н.** От явления знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия — к волнам маятникового типа в напряженных геосредах. Ч. II // ФТПРПИ. — 2013. — № 2.

15. **Опарин В. Н., Сашурин А. Д., Кулаков Г. И. и др.** Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008.
16. **Опарин В. Н.** Методологические основы построения многослойных мониторинговых систем геомеханико-геодинамической безопасности для горнодобывающих районов в тектонически активных зонах // Проблемы и пути инновационного развития горнодобывающей промышленности: материалы 6-й междунар. науч.-практ. конф. (9 – 11 сентября 2013 г.). — Алматы, 2013.
17. **Курленя М. В., Опарин В. Н., Востриков В. И.** О формировании упругих волновых пакетов при импульсном возбуждении блочных сред. Волны маятникового типа U_{μ} // ДАН. — 1993. — Т. 333. — № 4.
18. **Курленя М. В., Опарин В. Н.** Проблемы нелинейной геомеханики. Ч. II // ФТПРПИ. — 2000. — № 4.
19. **Александрова Н. И.** Лекции по теме “Маятниковые волны” в рамках курса “Нелинейная геомеханика”. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012.
20. **Садовский В. М., Садовская О. В., Варыгина М. П.** Математическое моделирование волн маятникового типа с применением высокопроизводительных вычислений // Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах: тр. 2-й Рос.-Кит. науч. конф. (2 – 5 июля 2012 г.). — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012.
21. **Опарин В. Н., Аннин Б. Д., Чугуй Ю. В. и др.** Методы и измерительные приборы для моделирования и натурных исследований нелинейных деформационно-волновых процессов в блочных массивах пород. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007.
22. **Курленя М. В., Опарин В. Н., Еременко А. А.** Об одном методе сканирования шахтной сейсмологической информации // ДАН. — 1993. — Т. 333. — № 6.
23. **Опарин В. Н., Усольцева О. М., Семенов В. Н., Цой П. А.** О некоторых особенностях эволюции напряженно-деформированного состояния образцов горных пород со структурой при их одноосном погружении // ФТПРПИ. — 2013. — № 5.

Поступила в редакцию 20/XII 2013