

Без границ

УРАВНЕНИЕ ДЛЯ ЛАВЫ

Уменьшить риски, связанные с извержениями вулканов, — это задача всегда будет для человечества актуальной. На протяжении известной нам истории Земли было немало вулканических событий, которые вызывали катастрофические последствия не только локального, но поистине глобального масштаба. К примеру, извержение вулкана Санторина в Средиземном море, произошедшее около трех с половиной тысяч лет назад, стало одной из причин заката минойской цивилизации и существенно изменило ход древней истории. А в 1815 году в результате взрыва вулкана Тамбора в Индонезии не только погибли более 70 тысяч местных жителей, но и наступило глобальное похолодание из-за того, что в стратосферу были выброшены миллионы тонн пепла и серы, не пропускавших солнечный свет. Из-за небывало низких температур в Европе и Северной Америке 1816 год назвали «годом без лета».

Хотя для Урала проблема вулканической активности вроде бы неактуальна, здесь есть ученые, которые строят математические модели, описывающие «поведение» потоков вулканической лавы на рельефе местности. Зав. отделом прикладных задач Института математики и механики УрО РАН доктор физико-математических наук А.И. Короткий работает по этой тематике совместно с доктором физико-математических наук А.Т. Исмаил-Заде, главным научным сотрудником Института теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН и старшим научным сотрудником Технологического института Карлсруэ (Германия). Мы встретились с Александром Илларионовичем Коротким и поговорили об этом проекте.

— Как вы заинтересовались столь экзотическим для наших мест явлением, как вулканическая активность?

— На самом деле разработкой аналитических и численных методов решения задач механики сплошной среды мы начали заниматься в связи с исследованиями иных природных процессов. С 1990-х годов благодаря содействию академика Ю.С. Осипова мы сотрудничаем с коллегами из Института теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, основанного в 1989 году известным специалистом в области теоретической и математической геофизики академиком В.И. Кейлисом-Бороком. Тогда я и познакомился с Али Тофиковичем Исмаил-Заде — геофизиком, имеющим также глубокие познания в области вычислительной математики и численных расчетов. Мы тогда решали задачу, связанную с моделированием процессов образования и развития осадочных бассейнов. Это впадины земной коры, заполнявшиеся в течение миллионов лет различными осадочными породами. Ин-

терес к ним обусловлен в том числе и тем, что в этих осадочных бассейнах сосредоточены основные запасы нефти и газа, образовавшиеся в них под действием высоких температуры и давления.

Другая задача того времени — моделирование процесса экструзии соли, возникновения так называемых соляных диапиров. Диапир (от греч. *diapairo* — протыкаю, пронзаю) — это куполо- или валлообразные складки земной поверхности. Они образуются в результате выдавливания из нижних горизонтов земной коры менее плотных высокопластичных пород — солей. Порой диапиры изливают соляные породы на дневную поверхность, образуя столбы, напоминающие горные массивы высотой до 1000 м (например, в районе Загрос, горной системы в Иране). Один из самых крупных солеродных бассейнов мира — Прикаспийский осадочный бассейн, располагающийся к северу от Каспийского моря на территории России и Казахстана.

Так называемая «соляная тектоника» также сопутствует нефтегазовым месторождениям. Соляные сло-

непроницаемы для нефти и газа, поэтому они являются «ловушками» для углеводородов. Для нефтяников очень важно знать, где и как образуются диапиры, потому что когда бур достигает соляных пород, он очень быстро изнашивается или ломается. Менять его дорого, особенно если бурение происходит на дне моря. Именно этим вызван практический интерес к моделированию процессов образования диапиров.

— А когда появились задачи, связанные с вулкано-логией?

— Около пяти лет назад. В 2014 году Российский научный фонд выделил нам грант на разработку моделей течения вулканических лав, и с тех пор мы работаем над этой интересной проблемой. Правда, мы не занимаемся прогнозированием извержений. Наши модели описывают то, что происходит с потоками лавы после того, как извержение уже произошло.

В качестве объекта моделирования был выбран известный североамериканский вулкан Йеллоустоун. Первое из трех гигантских извержений этого супервулкана



произошло 2,1 млн лет назад, тогда выбросы поднялись на высоту 50 км, до верхней границы стратосферы, а вулканический пепел покрыл более четверти территории Северной Америки. Последнее суперизвержение случилось около 640 тыс. лет назад, и хотя оно было вдвое слабее, чем первое, вершина вулкана провалилась, образовав кальдеру с длиной окружности 150 км. В последнее время в СМИ появляются сообщения о том, что Йеллоустоун «просыпается» снова. И хотя, по мнению ученых, в настоящий момент вероятность гигантского извержения Йеллоустоуна очень мала, американское правительство финансирует проекты по предупреждению вулканической катастрофы, потому что она представляет угрозу самому существованию США.

— Если представить, что извержение все же произошло, на какие вопросы могут дать ответы ваши модели?

— Очень важно знать, с какой скоростью и по каким областям будет растекаться извергнутая вулканом лава, какова температура и вязкость лавового потока. Поверхность огненной реки очень быстро застывает, на ней образуется корка, которая обладает теплоизоляционными свойствами. Под этой коркой лава может течь на очень большие расстояния, образуя каналы или тоннели. Известны случаи, когда такие скрытые лавовые потоки удалялись от вулкана на расстояние до 120 км. Они представляют огромную опасность: сжигают поля и дома, перекрывают автомобильные трассы. Чтобы смоделировать этот процесс, мы создавали виртуальный короб и «запускали» туда виртуальную лаву.

Мы занимаемся также численным моделированием того, как лавовые потоки из разных источников взаимодействуют между собой, растекаясь по местности. Большой интерес представляет численное моделирование

многократных извержений, позволяющее понять, что будет происходить при последующих извержениях (как, например, в Йеллоустоуне). Для этого используются геологические данные о предшествующих извержениях вулкана. Зная, какова была область, залитая лавой, мы можем, запустив виртуальный процесс, видеть, каким образом лава растекалась. Смоделировав с большой точностью старое извержение с учетом рельефа местности, можно определить потенциально опасные участки при вероятной новой вулканической катастрофе.

При численном моделировании потока лавы возникают как прямые, так и обратные задачи. Измерить температуру на поверхности лавового потока возможно с помощью удаленных аппаратов (спутников, самолетов), а также дронов. Но как измерить параметры лавового потока — температуру, вязкость, скорость — внутри него? Туда приборы внедрить невозможно. И тут возникает обратная задача — восстановить характеристики лавы в ее внутренней области по измерениям температуры и потока тепла на дневной поверхности. Для решения этой обратной граничной задачи мы и разрабатываем специальные методы и алгоритмы.

— А откуда берутся геологические и другие необходимые для моделирования данные по североамериканскому вулкану?

— Мы сотрудничаем с членом-корреспондентом РАН Олегом Эдуардовичем Мельником из Института механики МГУ, специалистом в области механики природных процессов и вулкано-логии, а ему предоставляют информацию его американские коллеги. Научиться хотя бы частично предотвращать катастрофические последствия извержения вулканов — задача глобального уровня, и без международного научного сотрудничества ее не решить.

Беседовала

Е. ПОНИЗОВКИНА

