

К 50-летию образования Института вулканологии и сейсмологии

О геотермальных флюидах, вулканах и землетрясениях

14 мая исполнилось 19 лет с тех пор, как в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН была образована лаборатория тепломассопереноса для решения фундаментальных и прикладных проблем энергетики вулканических областей. Этому предшествовал пятилетний период существования Творческого молодежного коллектива (ТМК) «Прикладная геотермия», нацеленного на создание методов для повышения эффективности бурения геотермальных скважин и применения моделирования для подсчета эксплуатационных запасов Мутновского геотермального месторождения. С момента создания лаборатории тепломассопереноса являясь ее заведующим. В лаборатории в настоящее время работает 14 сотрудников. Это академик РАН С.А. Федотов, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Ю.Ф. Манухин, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник И.Ф. Делемень, старший научный сотрудник В.М. Ившин, научные сотрудники А.Ю. Поляков, Т.В. Рычкова, А.В. Соломатин, С.Д. Черных, младшие научные сотрудники Е.В. Черных, О.О. Мирошник, ведущие инженеры Т.Г. Ившина, А.В. Мушинский, старший лаборант-исследователь В.К. Григорьев. В период функционирования ТМК в ней работали также доктор технических наук А.Н. Шулюпин, кандидаты геолого-минералогических наук В.А. Воронков, И.Б. Словоцков, Г.Ф. Пилипенко, В.И. Белоусов, Н.Н. Кожемьяка, Е.Г. Калачева, ведущий инженер М.Д. Лесных, младшие научные сотрудники Д.Н. Гусев, М.Г. Журавлев, научный сотрудник Л.И. Уткина.

О некоторых из них следует сказать особо. Сергей Александрович Федотов уже более 50 лет работает на Камчатке. В 1970 году был избран членом-корреспондентом РАН, в 1992 году – академиком РАН, с 1971-го по 2003 год был директором Института вулканологии ДВО РАН. Более 40 лет назад при исследовании сейсмичности Курило-Камчатской сейсмогенной зоны он выделил ряд основных пространственно-временных закономерностей, важнейшими из которых являются сейсмические бреши и сейсмический цикл сильнейших землетрясений, и на основе этих и некоторых других закономерностей для Курило-Камчатского региона, Северо-Восточной Японии и сходных с ними структур предложил метод долгосрочного сейсмического прогноза. Понятия «сейсмические бреши», «сейсмический цикл» и «долгосрочный сейсмический прогноз» стали применяться в мировой сейсмологии. Были изучены и объяснены свойства магматической питающей системы Ключевской группы вулканов, рассмотрена ее геофизическая модель, основанная на результатах изучения извержений, сейсмичности, деформаций и механизма вулканической деятельности. Исследования проведены методами вулканологии, геологии, геофизики, геохимии и некоторых других связанных наук. Академик РАН С.А. Федотов также возглавляет работу объединенного Совета по прогнозу извержений и землетрясений, заседания которого проводятся еженедельно.

Юрий Федорович Манухин 23 апреля отметил свое 75-летие. В 1960 году он окончил Ленинградский горный институт и после этого работал в гидрогеологических экспедициях Министерства геологии на северо-западе и северо-востоке страны, а с 1964 года на Камчатке. Заочно обучался в аспирантуре Института вулканологии. В 1976 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по особенностям гидродинамической зональности и условиям формирования месторождений пресных и термальных вод Камчатки. Он первооткрыватель Быстринского месторождения пресных подземных вод, в 1991 году эксплуатационные запасы месторождения были утверждены Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) СССР в количестве 125 тысяч м³/сут. В 1979–1997 годах возглавлял гидрогеологическую службу ПГО «Камчатгеология» и КПУ по использованию глубинного тепла Земли. В 2005 году продолжил научную деятельность в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, где принимал активное участие во внедрении новых методов подсчета эксплуатационных запасов Паужетского геотермального месторождения, признанных ГКЗ РФ в 2008 году. Отметим также в дополнение, что Ю.Ф. Манухин – почетный разведчик недр СССР и член Союза писателей СССР.

Большой вклад в развитие теории геотермальных процессов, включая условия формирования геотермальных месторождений, диагностику магматических тел и проникаемых зон в пределах геотермальных месторождений, связь вулканической и гидротермальной деятельности, инженерно-геологические условия опасных природных процессов в областях современно-

го вулканизма внес кандидат геолого-минералогических наук Иван Федорович Делемень.

Исследования тепломассопереноса в подземной гидросфере необходимы для понимания условий формирования месторождений минеральных ресурсов, пресных, лечебно-минеральных, промышленно ценных вод и геотермальных месторождений районов современного вулканизма. Важными являются исследования взаимосвязи режима подземных флюидов с сейсмическими событиями, также наиболее ярко проявленные в областях современного вулканизма. Дегидратация в зонах субдукции на глубинах 150–200 километров является основной причиной «гидратного» плавления земной коры, формирования магматических очагов, образования вулканов и их активной деятельности. При этом водно-газовая магматическая составляющая контролирует физические свойства магмы, и, соответственно, характеристики вулканических извержений.

Хотя сейсмологическая информация позволяет оперативно оценивать передвижения магмы в питающих каналах вулканов и в очагах, геометрию питающих систем, но эта информация не дает возможности оценить расходные и энергетические характеристики вулканических систем, то есть параметры, необходимые для прогноза развития извержений и для оценки геотермальных ресурсов. Поэтому разрабатываются термогидродинамические модели для расчетов характеристик вулканических и геотермальных систем. Они основаны на уравнениях математической физики – конвективном теплопереносе и кондуктивной теплопроводности, которые применяются при некоторых допущениях о геометрии проточных магматических очагов, условиях притока и истечения из них магмы. Исходя из этого, полученные фундаментальные аналитические решения, описывающие эволюцию размеров магматических очагов, расходные характеристики вулканических аппаратов центрального типа и трещинных извержений. Они позволяют оценивать размеры проточных ко-

фундаментальных решений, возникновению и широкому применению метода 3D термогидродинамического моделирования для решения разнообразных вулканических задач. Выявление гидравлической связи между эксплуатирующимся геотермальным резервуаром и действующим вулканом Мутновский дает принципиальную возможность управления вулканической и сейсмической активностью за счет изменения режима эксплуатации прилегающего геотермального резервуара.

Методы, которые разработаны при исследованиях по геофлюидодинамике вулканогенов, становятся все более востребованными в нефтегазовой индустрии. Например, все большее внимание уделяется проблеме оценки естественного восполнения месторождений нефти и газа за счет привлечения геофлюидных ресурсов с глубины, использованию информации о каналах подводящих глубинный теплоноситель на геотермальных месторождениях и информации о структурно-гидрогеологическом контроле высокотемпературных гидротермальных резервуаров.

Продолжают совершенствоваться технологии извлечения геотермальной энергии. В настоящее время геотермальная энергетика характеризуется суммарной установленной мощностью ГеоЭС 10715 МВт, что позволяет обеспечить электрической энергией 52 миллиона человек. Широко применяются бинарные ГеоЭС, что также позволяет эффективно использовать низкотемпературные геотермальные месторождения (100–150°C). Несмотря на положительную динамику роста, геотермальная энергетика не сможет достичь уровня использования других источников электрической энергии (угледорода, гидро-ресурсы, атомная), если не будут разработаны новые технологии извлечения геотермальной энергии из EGS (Enhanced Geothermal Systems), низкопроницаемых геотермальных систем (с высокой температурой, но низкой проницаемостью) в дополнение к конвективным геотермальным системам.

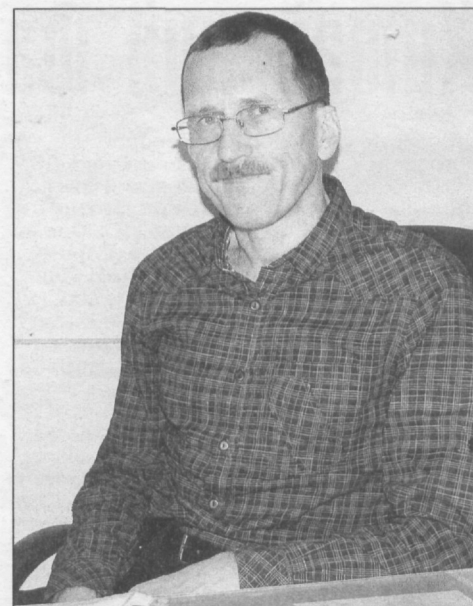


Сотрудники лаборатории тепломассопереноса: нижний ряд (слева-направо): Е.В. Черных, С.А. Федотов, Т.Г. Ившина, А.В. Мушинский, верхний ряд: В.М. Ившин, А.В. Кирюхин, О.О. Мирошник, А.В. Соломатин, Т.В. Рычкова, А.Ю. Поляков

ровых очагов вулканов по данным о количестве, составе изверженных продуктов и глубине очага. Таким образом, теоретически получены оценки необходимых исходных параметров для дальнейших исследований новых технологий извлечения геотермальной энергии, связанной с вулканами центрального типа. По данным Совета по геотермальным ресурсам США (2004), запасы тепловой энергии магматических систем в 180–450 раз превышают разведанные запасы нефти. Академиком С.А. Федотовым изучена возможность использования тепловой энергии сухих нагретых пород, вмещающих магматический очаг, для тепло- и электроснабжения Петропавловска-Камчатского. Предлагается создание с помощью бурения глубоких скважин трещинного теплообменника (подземной геотермальной циркуляционной системы). Эти разработки инициировали исследования промежуточной зоны между магматической питающей системой активного вулкана Мутновский и Мутновским месторождением парогидротерм, находящимся в эксплуатации с 1999 года, что привело к ряду

Теория тепломассопереноса, основанная на современных вычислительных методах, стала основой для тесной интеграции наук о Земле, она решает многие проблемы геохимии и геомеханики, а в сочетании с геофизическими методами – широкий диапазон геологоразведочных задач. В связи с этим становится важной проблема распространения этих знаний в научных, производственных и экспертирующих учреждениях и организация образовательного процесса.

Одним из основных направлений деятельности лаборатории тепломассопереноса являются долгосрочный сейсмический прогноз и оценки сейсмической опасности для Курило-Камчатской дуги и сходных с ней тектонических структур. В круг задач и вопросов долгосрочного сейсмического прогноза входят: изучение закономерностей сейсмической деятельности, составление и совершенствование долгосрочных прогнозов, получение данных об опасности сильных землетрясений, необходимых для подготовки к ним и для принятия мер по предотвращению ущерба и потерь. Курило-Камчатская дуга является наиболее



Алексей Владимирович КИРЮХИН

лее сейсмичным регионом России. Для него был предложен метод долгосрочного сейсмического прогноза, основанный на закономерностях размещения вероятных мест сильнейших землетрясений (сейсмических брешей) и сейсмического цикла. В настоящее время по этому методу прогнозируется ряд характеристик сейсмичности на пятилетние интервалы времени. Метод может применяться в других регионах мира, имеющих сходные структуру, геодинамику и сейсмотектонику, а также для долгосрочного прогноза цунами. Необходимо отметить высокую практическую значимость результатов работ по данному методу. Полученные на его основе сведения явились основанием для принятия государственных заблаговременных мер по сейсмобезопасности, сейсмозащите и сейсмоусилению жилого фонда и объектов социальной сферы в Камчатском крае и выделения средств на эти цели из федерального бюджета.

Наши текущие исследования включают рекализацию 3D термогидрогеохимической модели Мутновского геотермального месторождения по данным 33 лет разведки и эксплуатации. На примере этого уникального высокотемпературного (более 300°C) геотермального месторождения важно понять условия возобновления геотермальных ресурсов за счет глубинной составляющей и реинжекции отработанного теплоносителя, влияние притоков инфильтрационных вод метеорологического происхождения. Нас интересует также возможность обеспечения устойчивой эксплуатации геотермального резервуара при условии сохранения функционирования прилегающих термальных источников, гидравлическое взаимодействие с находящимися рядом активными вулканами Мутновским и Горелым и возобновление непрерывных режимных наблюдений в скважинах Мутновского геотермального месторождения в связи с прогнозом сейсмических событий.

Информация по механизму формирования продуктивных резервуаров и интенсификации притока глубинного теплоносителя в процессе эксплуатации Мутновского и Паужетского геотермальных месторождений, несомненно, важна также для понимания роли глубинной составляющей в формировании нефтяных залежей. И не только в качестве аналогии, но в методическом плане нами используется технология для расчета восходящих потоков глубинного теплоносителя применительно к флюидным резервуарам различного фазового состава. Например, сейчас в разработке находится модель Рогожниковского нефтяного вулканогенного резервуара в Западной Сибири, залегающего на глубинах 2,5–3,5 километров при температуре до 140°C.

Мониторинг режима функционирования гейзеров, уцелевших после катастрофического оползня 2007 года, но испытывающих влияние инъекции холодной воды из образовавшегося Подпрудного Озера, прогноз катастрофических процессов в гидротермальных системах – также являются одной из наших приоритетных задач.

Конечно же, в сфере наших интересов находится и Корякско-Авачинская группа вулканов. Для подкрепления расчетов С.А. Федотова о возможности извлечения геотермальной энергии из предполагаемого магматического очага для теплоэлектроснабжения Петропавловска-Камчатского необходимо бурение научных скважин. За океанский опыт (США) показывает, что для осуществления таких проектов необходима федеральная целевая геотермальная программа по разработке и применению геотермальных технологий с объемом ежегодного финансирования в эквиваленте около 350 млн. долл. США и внесение изменений в существующее законодательство с целью стимулирования производителей геотермальной энергии.

Алексей КИРЮХИН,
заведующий лабораторией
тепломассопереноса
Института вулканологии и
сейсмологии ДВО РАН
г. Петропавловск-Камчатский

Наша справка: Кирюхин Алексей Владимирович родился 22 ноября 1956 года в г. Ленинграде. В 1979 году окончил геологоразведочный факультет Ленинградского горного института по специальности «Гидрогеология», в 1981-м – математико-механический факультет Ленинградского государственного университета по специальности «Математика». С 1979 года работает в Институте вулканологии ДВО РАН, в 1996–2004 годах – заместителем директора по науке и заведующим отделом геотермии и геохимии. В 1993 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности «Гидрогеология» в Институте земной коры СО РАН, в 2001 году ему присвоено ученое звание профессор. Его разработка численной модели Мутновского геотермального месторождения в 1996 году открыла возможности для технико-экономического обоснования проекта и выде-

ления финансирования для строительства Мутновских ГеоЭС, что успешно завершилось их вводом в эксплуатацию с суммарной установленной мощностью 62 МВт электрической энергии в 2002 году. Методика численного термогидродинамического моделирования также использовалась для оценки эксплуатационных запасов месторождений парогидротерм (на примере Паужетского геотермального месторождения) и была одобрена Государственной экспертизой, что позволяет ее применять и для других высокотемпературных геотермальных месторождений России. Под руководством А.В. Кирюхина 3 июня 2007 года проводятся исследования условий формирования гидротермальной системы Долины Гейзеров и катастрофического оползня, флюидных резервуаров Корякско-Авачинского вулканогенного бассейна и триасовых вулканогенных нефтяных резервуаров в Западной Сибири.