

Совещания

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР «ВЗАИМОСВЯЗЬ МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВУЛКАНА МУТНОВСКИЙ И МУТНОВСКОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ»

Международный семинар в рамках программы научного бурения на континентах (ICDP) прошел 24-30 сентября 2006 г. в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский.

ВВЕДЕНИЕ

Какова связь между андезитовыми вулканами Тихоокеанского вулканического пояса и гидротермальными системами? Типичная ситуация предполагает стратовулкан или комплекс экзотрузий с фумарольной активностью на вершине и гидротермальной активностью на флангах. Примерами таких вулканов являются вулкан Унзен (о. Кюсю, Япония), вулканы Руапеху и Тонгариро (Новая Зеландия), вулкан Макушин (Аляска, США) и вулкан Мутновский (Камчатка, Россия). Аналогичные сочетания обнаружены при изучении гидротермальной минерализации, когда меднопорфировые месторождения окаймляются близповерхностными Cu-As-Au сульфидными и полиметаллическими жильными месторождениями. Вероятными причинами такой ассоциации могут быть следующие: (1) смешение магматических флюидов из жерла вулкана с метеорными водами; (2) системы даек, распространяющиеся на значительное расстояние от питающей системы вулкана; или (3) еще не остывшие интрузии, возможно, и не связанные с голоценовым вулканизмом. На Мутновском многое свидетельствует о том, что существует прямая гидравлическая связь между вулканом и эксплуатирующимся геотермальным месторождением: Мутновская ГеоЭС мощностью 50 МВт извлекает теплоноситель из наклонного разлома ССВ простирания, плоскость которого пересекает жерло вулкана Мутновский, расположенного в 8 км, а по изотопному составу извлекаемый скважинами геотермальный флюид соответствует тающему леднику в кратере вулкана. Устойчивый огромный тепломассопоток из вулкана Мутновский (>1000 МВт при температурах, достигающих 600 °С) и эмиссия газа (>1000 т/сут SO₂) могут происходить только при наличии конвекции в магматической питающей системе

вулкана на небольших глубинах. Такая высокая гидротермальная активность находящегося в состоянии «покоя» вулкана, в сочетании с геометрией системы и небольшим расстоянием от зоны магматического пара до зоны разбавленных геотермальных флюидов на глубинах менее 2 км, делают вулкан Мутновский исключительно привлекательной целью для научного бурения, с целью познания процессов взаимодействия между магматической и гидротермальной системами. Более того, немного в мире мест, имеющих такую инфраструктуру, доступность и наличие опытного персонала для обеспечения бурения вблизи кратера активного вулкана. Мутновские ГеоЭС обеспечивают треть потребности Камчатки в электроэнергии, и существуют планы бурения дополнительных скважин для поддержки устойчивой эксплуатации и расширения продукции ГеоЭС.

ОТКРЫТИЕ СЕМИНАРА

В работе семинара принимали участие 39 российских участников, представляющих институты РАН, и 12 специалистов из разных стран мира, включая США, Японию, Новую Зеландию, Мексику, Францию и Великобританию. Семинар открыли А. Орлов, зам. нач. Отдела природопользования и охраны окружающей среды и Е. Гордеев, чл.-корр. РАН, директор Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. С самого начала была изложена основная концепция проекта, заключающаяся в бурении и опробовании зоны контакта, расположенной предположительно посередине между Мутновским Активным Кратером и геотермальным месторождением, осуществление гидравлических и химических испытаний для оценки условий взаимосвязи. Эта концепция испытала значительную эволюцию в течение последующих нескольких дней семинара,

в процессе увлекательных дискуссий и обсуждения научных задач.

ДОКЛАДЫ «ВETERАНОВ» НАУЧНОГО БУРЕНИЯ

В начале первого дня семинара рассматривались обзоры уже осуществленных или находящихся в процессе осуществления проектов научного бурения, что позволило ощутить исторические перспективы происходящего. В частности, Дж. Айкельбергер остановился на исследовательском бурении вулканических структур на лавовом озере Ики вулкана Килауа (1970-е годы), разбурировании экструзий Инью и кальдеры Лонг Вэллей в Калифорнии (в 1980-х и 1990-х годах), разбурировании активного вулкана Унзен (1995-2005 гг). Наиболее важный, хотя и в некотором смысле «обескураживающий» результат Унзена – относительно низкие температуры в питающей дайке извержения 1990-1995 г (160 °С).

С. Накада (Университет Токио), основываясь на результатах Унзена, представил концептуальную модель островодужного вулкана, где тело вулкана представляется как мощная зона брекчирования за счет роя питающих вулкан даек, распространяющихся на значительные расстояния от самого вулкана (что также прекрасно видно в обнажениях дайковых полей Мутновского вулкана). В. Елдерс (Университет Калифорнии, Риверсайд) рассказал о своем опыте бурения исследовательских геотермальных скважин в Салтон Си (Калифорния), когда начиналась программа континентального бурения в США, и об участии в Исландском проекте научного бурения с целью вскрытия суперкритического флюида с высокой плотностью и энтальпией, а также о новых представлениях о тепло-массопереносе. В связи с этим, наиболее интересными были результаты лабораторных экспериментов перехода из субкритического в суперкритическое состояние, проведенных Н.Тсучия (Университет Тохоку, Япония).

ДОКЛАДЫ ПО МУТНОВСКОМУ ВУЛКАНУ И GEOTEPMAJbHOMY MECTOPOЖДЕНИЮ

Далее представлялись доклады, непосредственно связанные с Мутновским. А. Кирюхин (ИВиС ДВО РАН) представил общую гидрогеологическую информацию о Мутновском геотермальном месторождении (рис. 1), разбуриленном до глубин 2000 м и обладающим температурами до 300 °С. В результате мониторинга давления в двухфазном гидротермальном резервуаре установлены аномальные изменения давления, предшествующие землетрясениям, что подтверждает высокую чувствительность гидротермальной системы к деформациям. К сожалению, не-

прерывный ряд наблюдений прервался по техническим причинам во время сильного фреатического извержения Мутновского в марте 2000 г. В. Леонов, при анализе структурных геологических позиций Мутновского вулкана, отметил систему верхнечетвертичных даек ССВ простирающихся. М. Зеленский (ИЭМ РАН) и С. Бортникова (ИГМ СО РАН) представили результаты газогидрохимического и гидроизотопного опробования фумарол кратера Мутновского, которые показывают, что в кратере выделяются три группы термопроявлений по степени смешения метеорной воды и магматического флюида. Позже, во время полевой экскурсии в кратер, М. Зеленский продемонстрировал образование пирита в одной из фумарол. С. Бортникова привлекла внимание к необычному химическому составу некоторых фумарол, в том числе рекордно высоким концентрациями Сг. Как заметил В. Округин (ИВиС ДВО РАН), в кратере Мутновского мы наблюдаем эпитермальную рудную систему в действии, и в окрестностях вулкана находятся промышленные рудные месторождения, связанные с аналогичными, но более древними рудообразующими системами. Он назвал кратер Мутновского вулкана «уникальным химическим реактором», в котором обнаружены 35 ранее неизвестных минералов.

Ю. Трухин, директор НИГТЦ ДВО РАН, представил геотехнологии, связанные с Мутновской высокотемпературной магматической системой. Помимо минералогии гидротермальных минералов, в последнее время большой интерес представляет микробиологическая популяция экстремофилов. К сожалению, группа исследователей этого направления не участвовала в семинаре, но они присоединятся к проекту на следующем этапе. Хотя в целом доминировало мнение о том, что жерло активного Мутновского вулкана является существенным источником теплового питания Мутновского геотермального месторождения, И. Мелекесцев (ИВиС ДВО РАН) высказал ортодоксальную идею о том, что Мутновский вулкан является просто «паразитическим дымоходом» на теле гораздо более мощной Мутновской гидротермальной системы.

В докладе И. Чернева (ОАО «Геотерм») изложены результаты гидрогеологического мониторинга геопоя, подтвержден интерес геотермальной компании к проведению МТ-зондирований, мониторингу деформаций поверхности и сейсмичности на Мутновском месторождении и также дана краткая информация об этих работах.

А. Каргопольцев, директор Природного Парка «Южно-Камчатский», подтвердил важность научных исследований на территории парка, куда входит и вулкан Мутновский. Он

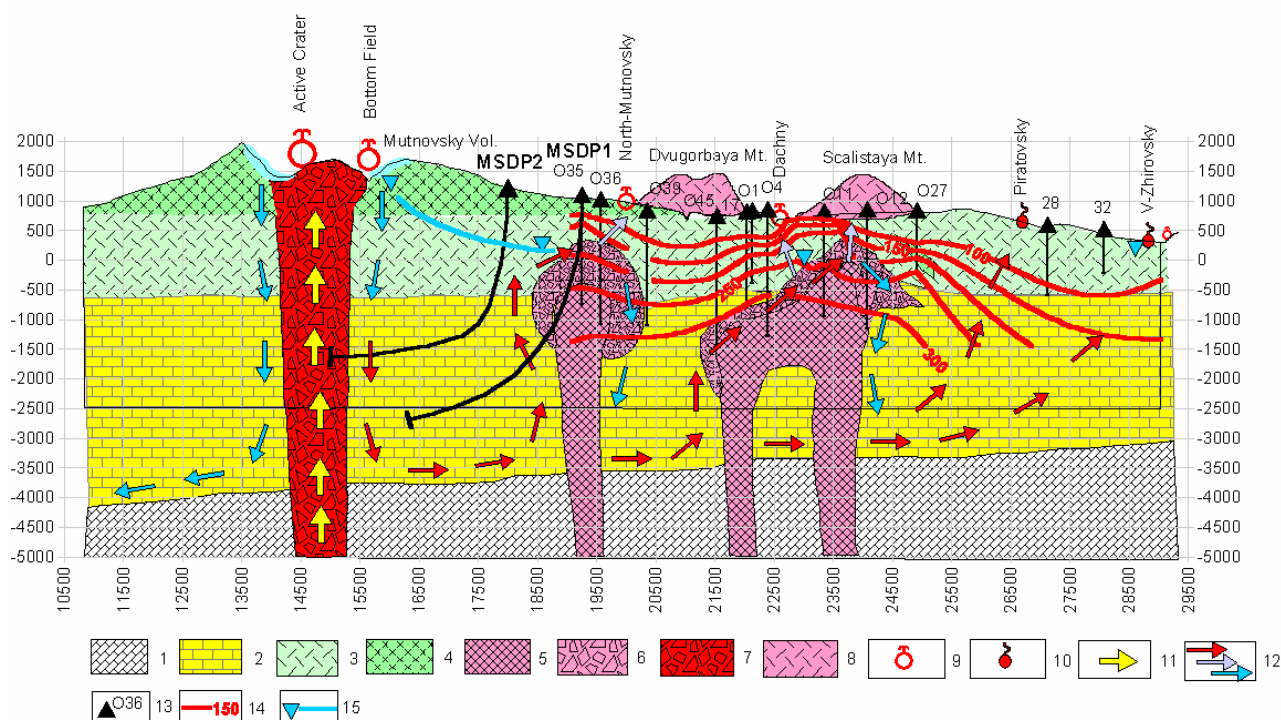


Рис. 1. Гидрогеологический разрез и концептуальная модель Мутновского вулкана и Мутновского геотермального месторождения: 1 – кристаллический фундамент, 2 – меловой фундамент и миоценовые песчаники, 3 – неогеновые вулканогенно-осадочные породы, 4 – Мутновский стратовулкан (Q₃-Q₄), 5 – диоритовые интрузии, 6 – диоритовая контактовая зона, 7 – магматическая система Мутновского вулкана, 8 – кислые экструзии (Q₃-Q₄), 9 – фумарольные поля, 10 – горячие источники, 11 – магма и магматические флюиды, 12 – гидротермальные флюиды, 13 – геотермальные скважины, 14 – распределение температуры (Мутновское геотермальное месторождение), 15 – уровень подземных вод в Мутновской гидротермальной системе, м. абс. MSDP1, MSDP2 – проекции потенциальных скважин научного бурения Мутновской Программы Научного Бурения (MSDP - Mutnovsky Scientific Drilling Program).

высказал идею о том, что смещение центра тяжести эксплуатации к вулкану снизит нагрузку на термоминеральные источники, представляющие интерес для развития туризма на Камчатке и имеющих бальнеологическое значение.

ДОКЛАД ПО ПРОЕКТУ БУРЕНИЯ АВЧИНСКОГО ВУЛКАНА

Академик РАН С.А. Федотов представил на семинаре доклад (подготовленный совместно с Президентом Российской Ассоциации «Геотермальное Энергетическое Общество» О. Поваровым) о проекте разбуривания Авачинского вулкана, расположенного вблизи г. Петропавловск-Камчатский. Предполагается, что в недрах Авачинского вулкана находится огромный объем прогретых горных пород.

ПОЛЕВАЯ ЭКСКУРСИЯ

После завершения представлений научных докладов, участники семинара отправились в двухдневную полевую экскурсию на Мутновское геотермальное месторождение, в процессе которой посетили Мутновскую ГеоЭС. Для тех участников, кто смог преодолеть путь длиной 25 км,

предстал в качестве высшей точки семинара кратер Мутновского вулкана (рис. 2), где «струи газа ... поют, свистят и застревают в горле» (В. Округин), среди «ярких красок природной серы в гигантской горе льда, припорошенной свежим снегом» Дж. Айкельбергеру вспомнилась поэма Роберта Фроста «Огонь и Лед».

ДОКЛАДЫ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ МЕТОДАМ

Вернемся теперь к докладам, посвященным геофизическим методам исследований, без которых невозможно определить место заложения будущей скважины. В. Спичак (ИФЗ РАН) представил возможности 3-D магнитотеллурического зондирования на примере магмогидротермальных систем Японии. А. Ньюман (Технологический Институт, Атланта, США) показал возможности анализа измерений деформаций поверхности, и как этот анализ может быть улучшен с использованием данных по петрофизическим свойствам горных пород из керна скважин и из естественных обнажений. В докладе Ю. Фроловой (МГУ) продемонстрированы возможности определения петрофизических



Фото 1. Участники Международного семинара ICDP во время полевой экскурсии в кратер Мутновского вулкана. Слева направо: А. Кирюхин (ИВиС ДВО РАН), Д. Нильсен (Центр по бурению и опробованию, Солт-Лэйк Сити, США), Ю.Фролова (МГУ), Н. Тсучия (Университет Тохоку, Япония), С. Накада (Университет Токио, Япония), Х. Макиас (Американский Университет, Мексика), Дж. Айкельбергер (Университет Аляски, США), М. Рид (Орегонский Университет, США), А. Саймон (Университет Лас Вегас, США). Фото А.В. Сокоренко.

свойств горных пород в МГУ. В. Чебров и Ю. Ку-гаенко (КФ ГС РАН) показали необходимость организации локальной сети из 3-4 сейсмостанций, которые, совместно с с/с «Бухта Русская» и «Горелый», составят самостоятельную локальную сеть, что позволит осуществить мониторинг за сейсмичностью района Мутновского геотермального месторождения и ближайших вулканов.

ДОКЛАДЫ О СВЯЗИ РУДООБРАЗОВАНИЯ И МАГМАТИЗМА

М. Рид (Орегонский Университет, США) и Г. Бигналл (Центр Геологических и Ядерных Исследований, Новая Зеландия) представили сообщения о магмо-гидротермальном взаимодействии, эволюции химического состава флюидных потоков на примерах анализа равновесий флюидных включений на медно-порфировом месторождении Бютте (США) и по данным распределения проницаемости на геотермальных месторождениях Новой Зеландии. С. Адам (Университет Невады, США) сконцентрировался на выяснении связей между магматизмом и близ-поверхностными рудными телами, в то время как Ж.-Л. Вилгернесс (Университет Нанси, Франция) представил новую точку зрения на формирование гранитных интрузий и рудных месторождений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ ДИСКУССИИ

Вне зависимости от того, существует или нет прямая гидравлическая связь между магматической и гидротермальной системами на Мутновском вулкане, очевидно, Мутновский представляет исключительную возможность для наблюдения зоны перехода от магмы к гидротермальному резервуару, процесса дегазации магмы и переноса металлов. Исследование связи между вулканом и прилегающей гидротермальной системой будет иметь важное значение для оценки геотермальных ресурсов Тихоокеанского вулканического пояса. Наличие такой связи предполагает, что многие островодужные вулканы могут включать гидротермальные системы. Учитывая необходимость развития энергетики и поиска новых энергетических ресурсов, в том числе бурение дополнительных скважин для обеспечения устойчивой эксплуатации Мутновских ГеоЭС, было достигнуто принципиальное согласие об обмене данными и сотрудничестве при решении задач предстоящего бурения между научным сообществом и ОАО «Геотерм».

Было достигнуто общее взаимопонимание в необходимости подготовки исчерпывающей программы геофизических и геохимических исследований, в которой будет постепенно уси-

ливаться буровая составляющая. В настоящее время приоритетными признаны магнитотеллурические, сейсмические, геодезические, гравиметрические и геохимические исследования – для выяснения пространственных характеристик и режима магматической и гидротермальной систем и их связей. Необходимо попытаться оценить тепловой и массовый баланс кратера Мутновского вулкана, в сочетании с петрологическими методами для оценки расхода дегазации. ОАО «Геотерм» планирует бурение трех дополнительных эксплуатационных 2000-метровых скважин в ближайшие три года (сообщение И. Чернева), в связи с этим предполагается обсуждение целей бурения для обеспечения получения максимальной прибыли ОАО «Геотерм» и максимальной информации для проекта научного бурения (MSDP). Предшествующие научному бурению исследования будут проводиться в выбранных для научных исследований существующих скважинах и (или) при добурировании существующих скважин, приближаясь к более нагретой части гидротермальной системы, обогащенной в большей степени магматическими флюидами, чем ранее опробованные поверхностные термопроявления (скважина MSDP1, рис. 1). Трассерные и гидравлические испытания будут использоваться для выяснения гидравлической связи систем. Многочисленные сильные региональные землетрясения и время от времени случающиеся извержения вулкана также дадут возможность наблюдать отклик системы по изменениям давления в ней. Наконец, если этот этап исследований завершится успешно, и условия для научного бурения будут возможны, будет сделана попытка вскрыть питающий канал Мутновского Активного Кратера, предположительно содержащий конвектирующую базальтовую магму (скважина MSDP2, рис.1).

Благодарности. Основное финансирование семинара поступило из Международной программы научного бурения на континентах (ICDP) (<http://www.icdp-online.org>). Организационную и финансовую поддержку в проведении семинара оказали Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (<http://www.kscnet.ru/ivs>), Петропавловск-Камчатский; Геофизический институт Университета Аляски, Фэрбэнкс (<http://www.gi.alaska.edu>); Агенство по Недропользованию; ОАО «Геотерм»; ГУП «Камчатскбургеотермия»; Камчатский Государственный Университет.

А.В. Кирюхин,
д.г.-м.н., гл.н.с. ИВиС ДВО РАН

Дж.Ч. Айкельбергер,
профессор Университета Аляски (г. Фербенкс)