

ОТЧЕТ по проекту РФФИ № 09-05-10067
«Организация и проведение комплексной экспедиции в районе Долины Гейзеров для выполнения сейсмологических, геофизических, инженерно-геологических работ»

Код классификатора, указывающий основную направленность проекта: 05-411

Другие коды классификатора, соответствующие содержанию проделанной в экспедиции работы: 05-333

Объявленные ранее цели экспедиции на 2009 год:

Экспедиция в районе Долины Гейзеров включает:

- сейсмологические наблюдения на базе широкополосных сейсмометров Guralp CMG-6TD;
- комплекс полевых инженерно-геологических работ для оценки условий развития опасных склоновых процессов;
- измерение термодинамических параметров Гейзерной высокотемпературной гидротермальной системы.

Степень выполнения поставленных для экспедиции задач:

Поставленные перед комплексной экспедицией задачи выполнены.

Проведена регистрация слабой локальной сейсмичности в районе «Долина гейзеров – вулкан Кихпинич» на полигоне, созданном в ходе полевых работ 2008 г. Для регистрации использовались широкополосные портативные сейсмометры GURALP CMG-6TD, сочетающие функции сейсмического датчика и цифрового регистратора. Применение современных цифровых средств регистрации обеспечило высокое качество полученного материала. Полное отсутствие антропогенных помех позволяет регистрировать здесь широкий набор естественных сигналов: локальные, региональные и удаленные землетрясения, микросейсмическое излучение, неструктивную активность гидротермальной системы. Время работы сейсмической микрогруппы: 02.09.2009 – 15.10.2009.

В ходе полевых работ 2009 г. было выполнено микросейсмическое профилирование исследуемой территории. Пройдено три профиля с шагом 500 м: один - вкост Долины Гейзеров и 2 параллельных вдоль восточного борта депрессии с захватом части Кихпиничского вулканического массива. Общая длина профилей 27 км. Регистрировался фоновый сейсмический сигнал. Время регистрации в каждой точке – 2-3 часа. Общее количество пунктов регистрации: 57. В качестве опорных точек использованы станции описанной выше сейсмической микрогруппы, ориентированной на непрерывную автономную регистрацию. Цель профилирования: построение модели глубинного строения под исследуемым районом. Работы выполнялись в ходе дневных радиальных маршрутов. Для регистрации использовались широкополосные портативные сейсмометры GURALP CMG-6TD. Материалы находятся в обработке.

Проведена рекогносцировочная кратковременная регистрация сейсмических сигналов на гейзерном поле. Цель: получение дополнительных данных о режиме гейзеров. Первые результаты обработки сигналов демонстрируют высокую информативность этого метода исследования гейзеров, учитывая новые возможности, связанные с широкополосной записью.

Комплекс инженерно-геологических работ на массиве оползня 03.06.2007 и прилегающих оползнеопасных участках. Выполнен комплекс полевых инженерно-геологических работ с целью сбора материалов для последующей оценки условий развития опасных склоновых процессов в районе Долины Гейзеров (долина р. Гейзерной). Проведение полевых инженерно-геологических работ осуществлялось в соответствии с научно-методическими разработками кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Проводились маршрутные исследования для изучения инженерно-геологических условий участка работ и полевое опробование для изучения свойств грунтов. Привязка точек наблюдения проводилась при помощи системы глобального

позиционирования GARMIN GPSMAP 60CSx. В полевой период было выполнено: маршрутное обследование текущего состояния оползневого массива и современного состояния процессоопасных участков пригребневой части склонов долины р. Гейзерной; отбор 18 скальных и 10 связных проб грунтов; 6 георадарных профилей общей протяженностью 1215 м. Георадарное изучение строения верхней части геологического разреза проводилось с использованием Георадара ОКО-2 с антенной АБ-150.

Четыре точки, входящих в микросейсмические профили, находятся в пределах оползнеопасного склона, на массивах гидротермально-измененных озерных отложений позднеплейстоценового возраста. Их записи будут использованы для оценки сейсмической балльности на склоне и, соответственно, для оценки условий развития опасных склоновых процессов при сильном сейсмическом воздействии.

В ходе полевых работ на Мутновском геотермальном месторождении и в районе Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) отработывалась методики анализа газов на термальных площадках и скважинах с разной обводненностью и температурными параметрами с помощью портативного автономного масс-спектрометра МС 7 – 100. В районе Долины Гейзеров повторные газо-динамические исследования не проводились в связи с травмой основного исполнителя, полученной при полевых работах на конусах БТТИ.

Полученные в ходе проведения экспедиции результаты:

Подтверждена местная сейсмичность, не регистрируемая региональной сетью, локализуемая в районе восточного борта Узон-Гейзерной вулканно-тектонической депрессии и западного борта вулканического массива Кихпиныч. Обнаружено значительное увеличение числа зарегистрированных микроземлетрясений по сравнению с полевым сезоном 2008 г.

Предварительную обработку прошли более 100 сейсмических событий. Отмечен неравномерный, роевой характер сейсмичности. В районе вулкана Кихпиныч рои землетрясений пространственно связаны с основными зонами современной гидротермальной активности. Глубина гипоцентров не превышает 5 км. В целом сейсмичность исследуемого района распределена не равномерно, а сконцентрирована в зоне купольного поднятия, выявленного ранее по данным спутниковой интерферометрии 2000-2003 гг. (Lundgren, Lu, 2006). Поднятие интерпретируется как внедрение магматического силла в верхние горизонты коры на границе Узон-Гейзерной вулканно-тектонической депрессии и вулканического массива Кихпиныч. Полученные в 2008-2009 гг. сейсмологические данные могут рассматриваться как подтверждение локальной скрытой вулканической активизации.

По результатам микросейсмического профилирования для проведения модельных расчетов подготовлены входные данные на основе полученных цифровых записей: более 3000 пар файлов «станция на профиле – опорная станция», синхронизированных по времени. По литературным и архивным данным для всех 57 точек профиля подготовлены подробные геологические описания мест установки датчиков. Выполненное микросейсмическое профилирование является первым геофизическим исследованием данного заповедного района, направленным на моделирование внутреннего строения земной коры и системы приповерхностных магматических очагов.

Сейсмическим методом впервые исследованы крупные гейзеры Долины: Большой, Великан, Жемчужный, короткопериодный гейзер Щель и пульсирующий кипящий источник Коварный. Сейсмометры устанавливались в непосредственной близости от грифона. Для крупных гейзеров в низкочастотной области спектра извержение четко регистрируется. Сейсмометр фиксирует деформацию, которая сопровождается мощным выброс горячей воды из гейзера в момент извержения. Более слабые гейзер Щель и источник Коварный требуют более детальной обработки в различных частотных полосах. Показано, что характер извержений гейзера Большого не стабилен. Некоторые извержения гораздо слабее других, хотя внешние условия постоянны. Особенно это заметно при анализе различных частотных диапазонов сейсмических записей. Это говорит о возможных вариациях в тепловом питании. Для гейзера Великан по сейсмическим данным выявлены скрытые периодические промежуточные извержения (малый цикл), которые происходят под землей. Ранее они наблюдались только в фазе излива гейзера как промежуточные вскипания.

На этом основании предполагалось, что существует мощный высокотемпературный подземный источник, работающий в гейзерном режиме и являющийся определяющим фактором теплового питания и деятельности гейзера Великан. Существование подземного гейзера подтверждено сейсмическим методом. Предложено назвать его Сердце Великана. Результаты интерпретации сейсмических записей могут быть использованы для уточнения существующих индивидуальных моделей для гейзеров Камчатской Долины гейзеров.

Составлено подробное описание текущего состояния пригребневой части склонов долины р. Гейзерной и оползневого массива. В ходе полевого обследования выявлены, по крайней мере, две возможные причины потери устойчивости склона. Первая - это высокая трещиноватость коренного массива. К сожалению, из-за соображений безопасности (стенки активны, постоянно происходят камнепады) не удалось замерить трещины на опорных площадках и количественно оценить трещиноватость массива. Другой причиной потери устойчивости склона, по-видимому, явилась активная гидротермальная деятельность района. Поскольку трещиноватые зоны являются естественными каналами для миграции флюидов, то вдоль них формируются ослабленные зоны за счет гидротермальной переработки первоначальных пород. Изначально породы склона представлены туфогенно-осадочными породами. При маршрутных наблюдениях удалось четко проследить наличие слоев и линз различных по составу пород.

Первичный анализ радарограмм показал, что строение оползнеопасного склона весьма неоднородно. На радарограммах выделяются участки с большим затуханием сигнала, которые могут быть сложены суглинистым материалом, и участки, на которых сигнал прослеживается до 5-6 м, что, по-видимому, свидетельствует о том, что они сложены блоками скальными грунтами. Следует отметить, что изучение физико-механических свойств грунтов оползневого тела, сформировавшегося в долине р. Гейзерной, и георадарное изучение строения верхней части геологического разреза территории выполнены впервые. Полученные материалы, несмотря на то, что носят, в достаточной мере, предварительный характер, в дальнейшем лягут в основу оценки условий развития опасных склоновых процессов в районе Долины Гейзеров (долина р. Гейзерной).

Отработаны методики пробоотбора и анализа газов (непосредственно на месте отбора газовых проб) с помощью портативного масс-спектрометра на природных объектах: Мутновская высокотемпературная гидротермальная система и конуса Большого трещинного Толбачинского извержения. Максимальная температура, обнаруженная на БТТИ в 2009 г, составляет 340 град С. Отрабатывается программа идентификации и количественного обсчета спектров, полученных с помощью масс-спектрометра МС 7 -100.

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ в районе «Долина Гейзеров – вулканический массив Кихпинич»

Число участников полевых работ: 6 человек.

Время проведения полевых работ: 1-30 сентября 2009 г., регистрирующая аппаратура работала до 15 октября.

Размещение отряда – кордон «Долина Гейзеров», кордон «Долина Смерти» (Кроноцкий государственный биосферный заповедник).

Заброска (снятие) отряда и аппаратуры: вертолет МИ-8 «Камчатских авиалиний».

Характеристики аппаратуры.

В 2009 г. наблюдения базировались на сейсмометрах CMG-6TD, которые относятся к категории портативных широкополосных приборов со встроенной флэш-картой и могут одновременно сочетать в себе функции сейсмического датчика и цифрового регистратора (рис.1). Основные характеристики CMG-6TD:

- частотный диапазон от 0.03 до 100 Гц;
- чувствительность 2×1200 В/м/с;
- 3-канальный 24-разрядный АЦП;
- частота оцифровки: 100 отсч./сек.;
- встроенная флэш-карта 2Гб;
- привязка по времени с помощью связанного с прибором GPS,
- срок автономности по емкости памяти флэш-карты: 14 суток;
- энергопитание от блока батарей «Лиман»
- Options: Wi-Fi, Ethernet, Fi-Wi.

Расстановки сейсмических станций для различных видов работ:

1. *Сейсмическая микрогруппа для регистрации локальной сейсмичности*
2. *Микросейсмическое профилирование восточного борта Узон-Гейзерной депрессии.*
3. *Рекогносцировочные записи на гейзерном поле, непосредственно вблизи гейзеров*

1. О работе сейсмической микрогруппы

В сентябре-октябре 2009 г. в районе Долины Гейзеров работала временная микрогруппа из 4 временных сейсмических станций CMG-6TD (рис.1-3, таблица 1).

Цель : регистрация локальных землетрясений.

Сейсмометры были установлены на постаменты, установленные для регистрации в прошлом году. Это обеспечивает преемственность и повторяемость характеристик записи в разные временные интервалы.

В 2008 г. многие станции пострадали от действий животных. Поэтому в текущем полевом сезоне были приняты меры для защиты и сохранности аппаратуры. Были изготовлены защитные металлические крышки, которые жестко крепились к вбитым по краям сейсмоямы металлическим уголкам. В целях непривлечения внимания к местам регистрации вся аппаратура (сейсмометры, батареи, провода) были скрыты под защитной крышкой, под землей, на поверхности оставалась только GPS-антенна. Принятые меры оправдали себя: из четырех станций только одна (в верховье ручья Игрушка) дважды «подергалась нападению», при этом сейсмометры не пострадали. После второго «нападения» были повреждены коммуникационные провода, поэтому станцию пришлось снять. (рис.3)

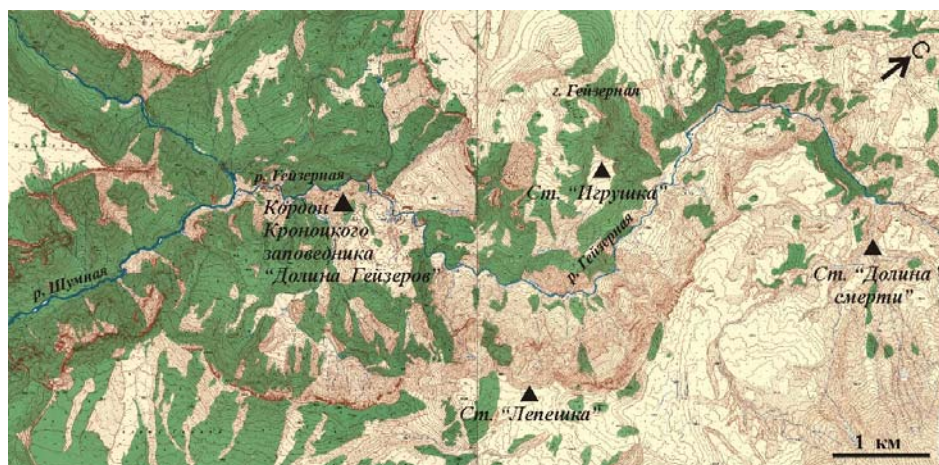


Рис. 1. Схема расстановки временной микрогруппы сейсмических станций в сентябре-октябре 2009 г.

Таблица 1. Данные о станциях сейсмической микрогруппы

Название станции, аппаратура	Время работы	Координаты	Описание места установки
«Долина Гейзеров» сейсмометр CMG-6TD № GSL00	4.09.2009- 15.10.2009	54.43558 ° с.ш. 160.13523 ° в.д. Н=526 м	Кордон Долина Гейзеров. Водораздел р. Гейзерной и руч. Водопадного. Безымянная возвышенность. У склона каньона над озером, образовавшимся после схода оползня. На склоне - многочисленные парящие термопроявления. Область поверхностной термоаномалии. Грунт: почвенно-пирокластический чехол. Подстилающие породы – озерные отложения позднелейстоценового возраста (более 100 м).
«Лепешка» сейсмометр CMG-6TD №6868	5.09.2009- 15.09.2009	54.43685 ° с.ш. 160.17365 ° в.д. Н=995 м	Восточный борт Узон-Гейзерной депрессии. Уступ депрессии в 100 м к северо-западу от станции. Ландшафт – верхняя тундра. Грунт: почвенно-пирокластический чехол. Подстилающие породы - нерасчлененные отложения докальдерного комплекса (преимущественно лавы и туфы андезитового и дацитового состава), мощность – более 200 м.
«Игрушка» сейсмометр CMG-6TD №6864	3.09.2009– 1.10.2009	54.45409 ° с.ш. 160.15628 ° в.д. Н=840 м	К востоку от экструзивного купола сопки Гейзерной. Ландшафт – верхняя тундра с кустарниками. Грунт: почвенно-пирокластический чехол. Подстилающие породы - озерные отложения позднелейстоценового возраста (более 100 м).
«Долина смерти» сейсмометр CMG-6TD №6869	2.09.2009- 15.10.2009	54.46811 ° с.ш. 160.1877 ° в.д. Н=942 м	Верховье р. Гейзерной. Западный склон вулканического массива Кихпиныч. Лавовый поток позднелейстоценового возраста, связанный с экструзивным куполом соп. Желтая (влк. Кихпиныч). Ландшафт – верхняя тундра. Грунт: почвенно-пирокластический чехол. Подстилающие породы - лавы риолитового состава (30 м).



Рис. 2. Временная сейсмическая станция в районе верхней вертолетной площадки на кордоне «Долина Гейзеров» Кроноцкого заповедника. А-В – установка станции. Г – защитная жестко закрепленная металлическая крышка, GPS-антенна, воздуховод для вентиляции блоков электропитания; обеспечен доступ к коммуникационному блоку для снятия данных без вскрытия станции



Рис. 3. Временная сейсмическая станция в верховье ручья Игрушка – иллюстрация проблемы организации временных автономных геофизических наблюдений на территории Кроноцкого заповедника. Внешний вид места установки 15.09.2009 и 01.10.2009, после медвежьих «нападений».

Результаты сейсмологических наблюдений 2008-2009 гг.

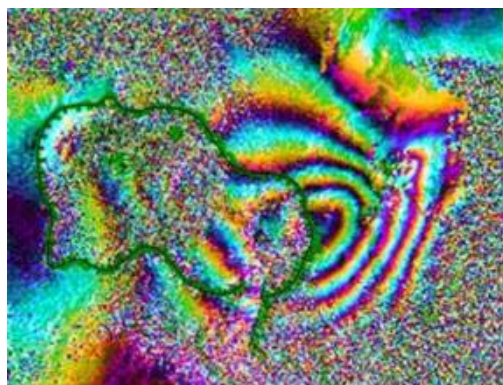
Одной из основных целей сейсмологических работ является определение координат локальных слабых землетрясений, не регистрируемых региональной сетью, в том числе сейсмических событий, приуроченных к вулкану Кихпиныч.

Несмотря на малое количество зарегистрированных в 2008 г. землетрясений, тенденция их распределения была однозначна: приуроченность к восточному борту Узон-Гейзерной депрессии и Кихпинычскому долгоживущему вулканическому центру.

Материалы 2009 г. обработаны еще не полностью, но они также соответствуют выявленной в 2008 г. тенденции. Подтверждена местная сейсмичность, не регистрируемая региональной сетью, локализуемая в районе восточного борта Узон-Гейзерной вулканно-тектонической депрессии и западного борта вулканического массива Кихпиныч (рис.4). Обнаружено значительное увеличение числа зарегистрированных микроземлетрясений по сравнению с полевым сезоном 2008 г. Предварительную обработку прошли более 100 сейсмических событий. Отмечен неравномерный, роевой характер сейсмичности. В районе вулкана Кихпиныч рои землетрясений пространственно связаны с основными зонами современной гидротермальной активности. Глубина гипоцентров не превышает 5 км. В целом сейсмичность исследуемого района распределена не равномерно, а сконцентрирована в зоне купольного поднятия, выявленного ранее по данным спутниковой интерферометрии 2000-2003 гг. [Lundgren, Lu, 2006]. Поднятие интерпретируется как внедрение магматического силла в верхние горизонты коры на границе Узон-Гейзерной вулканно-тектонической депрессии и вулканического массива Кихпиныч.

Полученные в 2008-2009 гг. сейсмологические данные могут рассматриваться как подтверждение локальной скрытой вулканической активизации.

А



Б

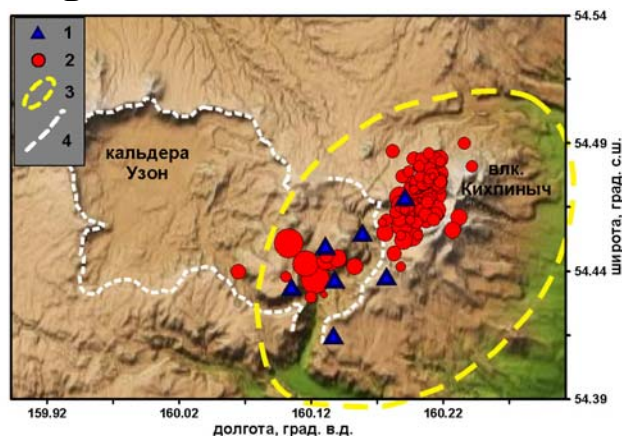


Рис.4 А - Интерферограмма на район Узон-Гейзерной депрессии [Lundgren, Lu, 2006]. Границы депрессии показаны линией с бергштрихами. Концентрические круги, приуроченные к восточной части депрессии - район поднятия. Цикл окраски от светлого до темного соответствует поднятию на 2,8 см. В 2000-2003 гг. общее поднятие восточного борта депрессии составило около 15 см.

Б – Локальная сейсмичность района «Долина Гейзеров – вулканический массив Кихпиныч» по данным полевых наблюдений 2008-2009 гг. 1 – временные сейсмические станции, 2 – эпицентры локальных поверхностных землетрясений ($K=3\div 7$), 3 – предполагаемая граница Кихпинычского долгоживущего вулканического центра.

2. Микросейсмическое профилирование восточного борта Узон-Гейзерной депрессии.

В ходе полевых работ 2009 г. было выполнено микросейсмическое профилирование. Пройдено три профиля с шагом 500 м: один - вкост Долины Гейзеров по тропе «Узон-Долина» и далее на восток и 2 параллельных вдоль восточного борта депрессии с захватом части Кихпиньчского вулканического массива (рис.5). Общая длина профилей 27 км. Регистрировался фоновый сейсмический сигнал. Время регистрации в каждой точке – около 3 часов. Общее количество пунктов регистрации: 57. Привязка осуществлялась с помощью GPS-приемника.

Цель: построение модели глубинного строения под исследуемым районом.

Для установки датчиков с помощью ручного бура подготавливалась яма глубиной до 40-50 см и диаметром 15-20 см. Электропитание осуществлялось от портативного аккумулятора. Работы выполнялись в ходе дневных радиальных маршрутов от кордонов «Долина гейзеров» и «Долина смерти».

По результатам микросейсмического профилирования для проведения модельных расчетов подготовлены входные данные на основе полученных цифровых записей: более 3000 пар файлов. Выполненное микросейсмическое профилирование является первым геофизическим исследованием данного заповедного района, направленным на моделирование внутреннего строения земной коры и системы приповерхностных магматических очагов.

По опубликованным и фондовым материалам для каждой точки профиля подготовлено подробное описание места установки датчика, включая подстилающие породы.

Материалы находятся в обработке.

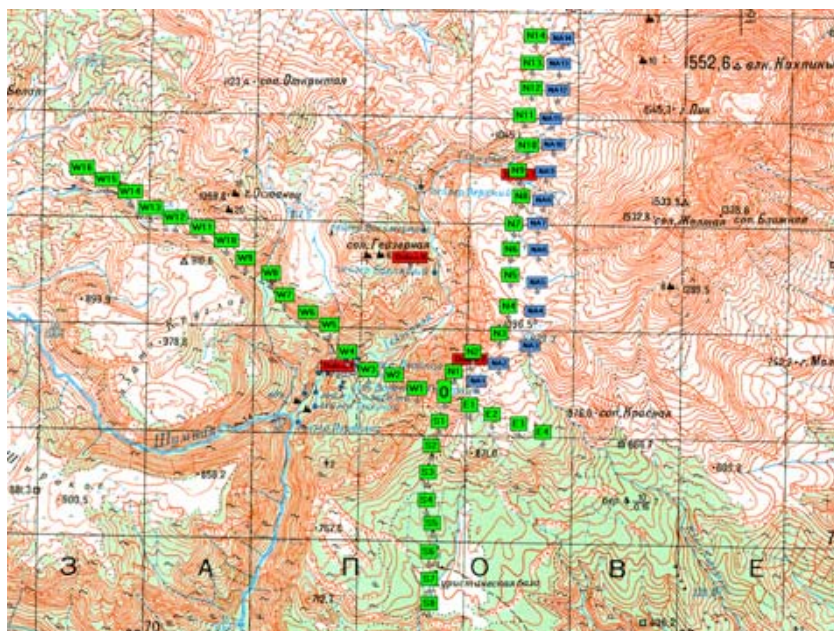


Рис.5. Профили микросейсмической съемки. Общая длина профилей 27 км. Красным выделены базовые станции.



Бурение ручным буром (диаметр сверла 15 см) отверстия в грунте для установки сейсмического датчика. Датчик – на переднем плане.



Отверстия в грунте для установки сейсмического датчика, глубина 40-50 см.



Внешний вид места установки сейсмического датчика при работах по микросейсмическому профилированию. Время записи в точке – 2-3 часа. Датчик помещен в яму и засыпан грунтом. На поверхности – провод, аккумулятор, GPS-антенна.



Переноска аппаратуры при передвижении по профилю.

Рис 6. Микросейсмическое профилирование территории (рис.5).

3. Рекогносцировочная кратковременная регистрация сейсмических сигналов на гейзерном поле (рис. 7-10).

Цель: получение дополнительных данных о режиме гейзеров.

Сейсмометры устанавливались непосредственно на дневную поверхность, без заглубления. Для защиты от возможного попадания воды приборы накрывались пластиковыми транспортировочными ящиками.

Первые результаты обработки сигналов демонстрируют высокую информативность этого метода исследования гейзеров, учитывая новые возможности, связанные с широкополосной записью. Оригинальная сейсмическая запись гейзера Большого, освободившегося от воды озера в середине сентября 2009 г. и возобновившего активность, приведена на рис. 11.

Сейсмическим методом впервые исследованы крупные гейзеры Долины: Большой, Великан, Жемчужный, короткопериодный гейзер Щель (33 мин.) и пульсирующий кипящий источник Коварный. Сейсмометры устанавливались в непосредственной близости от грифона. Для крупных гейзеров в низкочастотной области спектра извержение четко регистрируется. Сейсмометр фиксирует деформацию, которая сопровождает мощный выброс горячей воды из гейзера в момент извержения. Более слабые гейзер Щель и источник Коварный требуют более детальной обработки в различных частотных полосах. Показано, что характер извержений гейзера Большого не стабилен. Некоторые извержения гораздо слабее других, хотя внешние условия постоянны. Особенно это заметно при анализе различных частотных диапазонов сейсмических записей. Это говорит о возможных вариациях в тепловом питании. Для гейзера Великан по сейсмическим данным выявлены скрытые периодические промежуточные извержения (малый цикл), которые происходят под землей. Ранее они наблюдались только в фазе излива гейзера как промежуточные вскипания. На этом основании предполагалось, что существует мощный высокотемпературный подземный источник, работающий в гейзерном режиме и являющийся определяющим фактором теплового питания и деятельности гейзера Великан. Существование подземного гейзера подтверждено сейсмическим методом. Предложено назвать его Сердце Великана. Результаты интерпретации сейсмических записей могут быть использованы для уточнения существующих индивидуальных моделей для гейзеров Камчатской Долины Гейзеров.



Рис.7. Сейсмическая регистрация около гейзера Большой.



Рис. 8 Сейсмическая регистрация около пульсирующего кипящего источника Коварный.



Рис. 9 Сейсмическая регистрация около гейзера Щель.



Рис. 10 Сейсмическая регистрация около гейзера Жемчужный

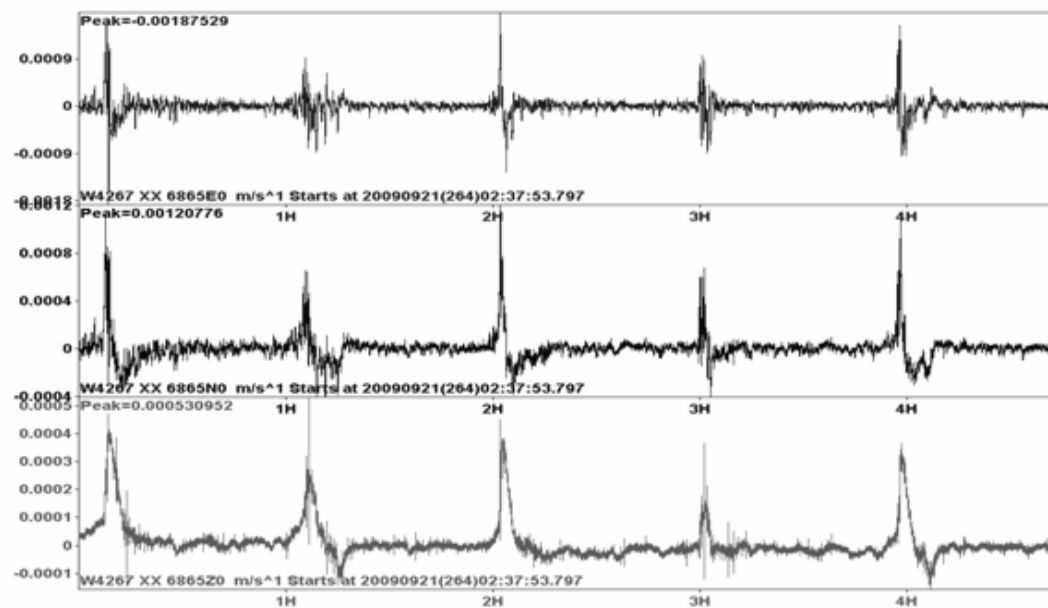


Рис. 11. Сейсмическая запись деятельности гейзера Большого.

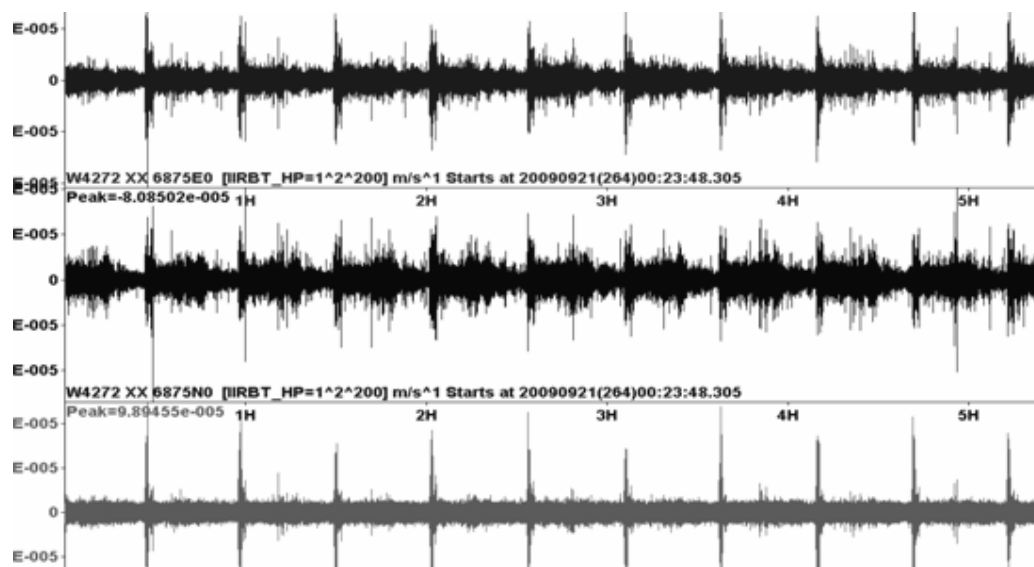


Рис. 12. Сейсмическая запись деятельности гейзера Щель в частотном диапазоне 1-50 Гц.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ в районе оползня в Долине Гейзеров

Группа была прикомандирована к полевому сейсмологическому отряду Камчатского филиала Геофизической службы РАН в рамках выполнения совместного научного проекта РФФИ.

Ответственные исполнители:

Ладыгин В.М. (с.н.с., к.г.-м.н.) и Гвоздева И.П. (вед. инж.),
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии.

Время проведения полевых работ: 15-30 сентября 2009 г.

Размещение отряда – кордон «Долина Гейзеров»

Заброска (снятие) группы: вертолет МИ-8 «Камчатских авиалиний».

Общая информация о проведенных работах

Недостаточная степень специализированной изученности проблемы развития опасных геологических процессов в районе Долины Гейзеров (долина р. Гейзерной) обусловила постановку комплекса научно-исследовательских работ на рассматриваемой территории. Целью выполнения комплекса полевых инженерно-геологических работ являлось проведение полевых наблюдений и сбор материалов для последующей оценки условий развития опасных склоновых процессов в районе Долины Гейзеров (долина р. Гейзерной).

Проведение полевых работ в Долине Гейзеров (долина р. Гейзерной) осуществлялось в рамках проекта по **«Организации и проведению комплексной экспедиции в районе Долины Гейзеров для выполнения сейсмологических, геофизических, инженерно-геологических работ».**

Основными задачами экспедиционных инженерно-геологических работ в 2009 г. ставилось:

- маршрутное обследование текущего состояния процессоопасных участков пригребневой части склонов долины р. Гейзерной;
- маршрутное обследование текущего состояния оползневого массива;
- изучение физико-механических свойств грунтов оползневого тела;
- георадарное изучение строения верхней части геологического разреза.

Методика выполнения работ

Проведение полевых инженерно-геологических работ осуществлялось в соответствии с научно-методическими разработками кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, изложенными в [1-3].

На этом этапе проводилось маршрутные исследования для изучения инженерно-геологических условий участка работ и полевое опробование для изучения свойств грунтов.

Привязка точек наблюдения проводилась при помощи системы глобального позиционирования GARMIN GPSMAP 60CSx. Точность позиционирования составила от 3 до 5 м, в зависимости от условий видимости спутников.

Определение весовой влажности образцов грунтов выполнялось весовым методом;

определение плотности грунтов - методом режущего кольца. Определение показателей прочности выполнялось на приборе П-1С по схеме неконсолидированного среза. Как известно, характеристики прочности определяются по результатам срезов грунта по фиксированной плоскости касательными нагрузками при одновременном создании нагрузок, нормальных к плоскости среза. Сопротивление грунта (τ) определяется как предельное касательное напряжение, при котором срезался монолит. Для определения (φ) и (C) проводилось испытания 3-х проб грунта при различных значениях нормального давления.

Георадарное изучение строения верхней части геологического разреза проводилось с использованием Георадара ОКО-2 с антенной АБ-150.

В полевой период было выполнено:

- маршрутное обследование текущего состояния оползневого массива и современного состояния процессоопасных участков пригребневой части склонов долины р. Гейзерной;
- отбор 18 скальных и 10 (по три пробы на образец) связных проб грунтов;
- 6 георадарных профилей, общей протяженностью 1215 м.

Основные результаты, полученные при выполнении экспедиционных работ

Маршрутное обследование. В состав полевых работ входило маршрутное обследование склона по левому борту р. Гейзерной в районе схода оползня-потока 3 июня 2007 г.

Обследованный склон практически полностью покрыт стлаником. Породы вскрываются лишь в ручьях, редких осыпях, вывалах в пригребневой части в ограниченном количестве (рис. 1) и представлены в основном грубообломочными разностями грунтов (туфами). Верхняя часть склона бронируется, по-видимому, более прочными породами, образующими уступ. Судя по строению дневной поверхности, породы имеют моноклинальное залегание с небольшими углами с падением от склона (рис. 2).



Рис 1. Уступ, сложенный грубообломочными туфами т.27



Рис. 2. Вид на гребень над оползнем т.30

Нижняя часть склона изрезана глубокими оврагами (рис. 3) как сухими (в это время года), так и имеющими постоянные водотоки. Общий угол склона в этой части $30-35^\circ$, покрыт кустарником, углы овражных долин достигают $40-50^\circ$, на которых не образуется почвенный покров (рис. 4). В верховьях наблюдаются зоны отседания в делювиальном покрове (рис 5).

Сам оползень имеет протяженность (по направлению смещения) до 1,2-1,5 км при ширине оползневого языка до 0,2-0,4 км. Общий объем горных пород, вовлеченных в смещение, оценивается в 4,7 млн. м³. В данный момент тело оползня представляет собой нагромождение глыб разного размера и разной степени сохранности. Оползневые отложения дифференцированы вдоль направления движения. Кроме того, в верхней левой части явно выделяется, по-видимому, вторичная генерация склоновых деформаций. Поверхность оползня неровная, угол наклона не превышает, как правило, 10° (рис.6).



Рис.3 Общий вид ненарушенного склона



Рис.4. Овражная деятельность.



Рис. 5. Трещины закола в головной части оползня и сформировавшиеся рвы отседания.



Рис. 6. Общий вид оползня сверху.

Исключение составляют поперечные валы, образовавшиеся в местах замедления движения. Они формируют самостоятельные формы рельефа в пределах оползневого тела и четко выражены вдоль правого борта оползня. Поперечные валы имеют высоту до 10-15 м и характеризуются большим количеством мелкообломочного материала (рис. 7).

В целом, верхняя часть оползня сложена крупными (до нескольких метров) глыбами туфов различного состава от грубообломочных до фарфоровидных тонкозернистых пород (рис. 8).

В нижней части (примерно уровень базы заповедника и ниже к р. Гейзерной) меняются как характер оползневой поверхности, так и отложения, слагающие оползневой массив. Поверхность становится более выровненной за счет большего количества мелкообломочного материала и большей степени разрушения больших глыб за счет выветривания (рис. 9, 10).

Особую область представляет собой часть оползня, расположенная в верхней левой части тела. Ее можно рассматривать как отдельную генерацию. Механизм движения здесь представлял собой не течение, а смещение крупного блока, который деформировался и разбивался на более мелкие в процессе движения (рис. 6, 11).

Стенки отрыва в зоне блоковых смещений представляют собой субвертикальные ровные плоскости высотой 80-100 м, что говорит о существовании достаточно протяженной ослабленной зоны (рис. 12).

Следует отметить, по крайней мере, две возможные причины потери устойчивости склона. Первая - это высокая трещиноватость коренного массива. На рис. 13 отчетливо видно, что одна из систем трещин параллельна поверхности отрыва. К сожалению, из-за соображений безопасности (стенки активны, постоянно происходят камнепады) не удалось замерить трещины на опорных площадках и количественно оценить трещиноватость массива.

Другой причиной потери устойчивости склона, по-видимому, явилась активная гидротермальная деятельность района. Поскольку трещиноватые зоны являются естественными каналами для миграции флюидов, то вдоль них формируются ослабленные зоны за счет гидротермальной переработки первоначальных пород. Изначально породы склона представлены туфогенно-осадочными породами. При маршрутных наблюдениях удалось четко проследить наличие слоев и линз различных по составу пород (рис. 14).

Необходимо отметить, что в самом теле оползня активно развиваются различные вторичные процессы. Река Гейзерная уже через несколько дней после схода оползня «пропилила» русло через сформировавшуюся запруду, имевшую ширину до 300 м и мощность до 30 м. Спустя 2 года река практически течет в своем первоначальном русле, промыв толщу оползневых отложений на всю мощность (рис.15). Длина естественной плотины в настоящее время не превышает составляет нескольких десятков метров (рис. 16).

Ручьи, чьи долины были перекрыты сходом оползня, начинают формировать свои новые долины в теле оползня (рис. 17). Под стенками отрыва формируются осыпи, а временными водотоками, имеющими характер микроселей, выносятся мелкий материал, который откладывается у основания стенок, образуя конуса выноса (рис.18). В местах отсутствия стока или на участках, где сток затруднен, формируются озера (рис.19).

Кроме того наблюдаются парообразные выделения (т. 38, т. 62, в районе заваленных гейзерных площадок).



Рис. 7. Вид оползня в нижней части



Рис. 8. Десквамация глыб тонкообломочного туфа



Рис. 9. Блоковое оползание



Рис.10. Трещиноватость стенок отрыва



Рис.11. Слоистость коренных отложений склона



Рис. 12. Современное русло р. Гейзерной



Рис. 13. Вновь сформировавшиеся русла ручьев.



Рис. 14. Отложения временных водотоков.

Изучение физико-механических свойств грунтов оползневого тела. Для характеристики пород, изучения их строения, структуры, состояния, свойств, характера изменения были отобраны образцы из разных частей оползня (таблица 1). Из-за невозможности отбора образцов непосредственно из коренного залегания, монолиты скальных пород отбирались из крупных глыб, визуально не затронутых вторичными изменениями.

Отбор измененных глинистых отложений производился в кольца (ненарушенного сложения и бюксы (нарушенного сложения). Всего 11 точек опробования (рис. 20). При отборе проб руководствовались тем соображением, что необходимо охватить как можно большую площадь и опробовать как можно больше литологических разностей.

Таблица 1

Отбор образцов	Количество	№№ точек отбора
скальных	18	64, 65, 68, 95, 96, 107, 155, 156, 157
глинистых	10 (по три пробы на образец)	47, 53, 78, 94, 95, 96, 97, 99, 107, 108, 155



Рис. 15. Отбор глинистых образцов для лабораторного исследования.

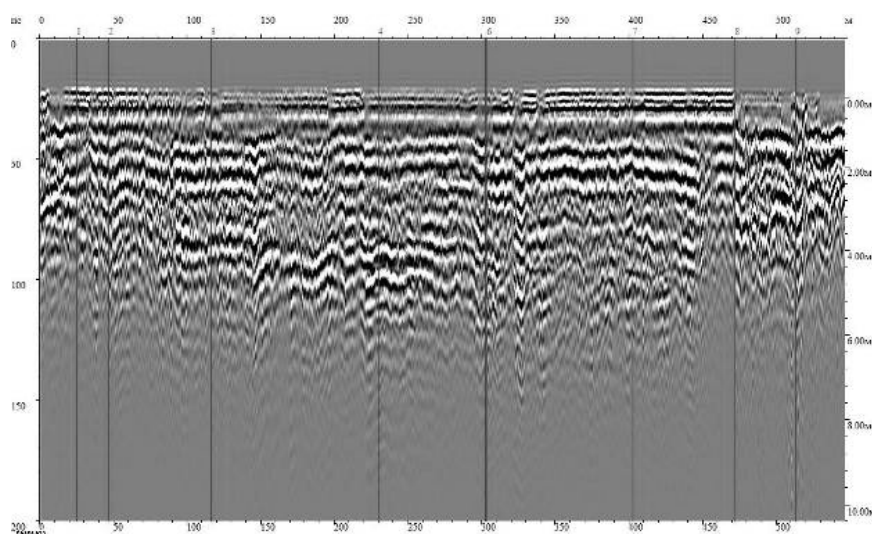


Рис. 16. Радарограмма по профилю 1.

Георадарное изучение строения верхней части геологического разреза.

При изучении территории, прилежащей к оползневой зоне было выполнено предварительное исследование верхней части геологического разреза с помощью георадара. Для этой цели использовался георадар ОКО-2 с антенной АБ-150. Учитывая сложность географической обстановки (высокая степень залесенности, крутые склоны) и требования заповедника, заложение георадарных профилей было выполнено лишь только на правом склоне р. Гейзерной в зоне гейзерных площадок выше по течению от места схода оползня. Было сделано 6 профилей, общей протяженностью 1215 м. Полученные радарограммы приведены на рисунках 21-26.

Из общего вида радарограмм можно сделать вывод о весьма неоднородном

строении склона. На радарограммах выделяются участки с большим затуханием сигнала, которые вероятно сложены суглинистым материалом, и участки, на которых сигнал прослеживается до 5-6 м, что, по-видимому, свидетельствует о том, что они сложены блоками скальными грунтами. Однако, можно предположить, что интерпретация георадарных данных будет затруднена из-за невозможности какой-либо литологической привязки (в заповеднике не разрешены никакие работы по геологическому опробованию).

Заключение

В период экспедиционных инженерно-геологических работ в 2009 г. было выполнено:

- маршрутное обследование текущего состояния процессоопасных участков прибрежной части склонов долины р. Гейзерной;
- маршрутное обследование текущего состояния оползневого массива;
- изучение физико-механических свойств грунтов оползневого тела;
- георадарное изучение строения верхней части геологического разреза.

Следует отметить, что **изучение физико-механических свойств грунтов оползневого тела, сформировавшегося в долине р. Гейзерной, и георадарное изучение строения верхней части геологического разреза территории выполнены впервые.**

Полученные материалы, несмотря на то, что носят, в достаточной мере, предварительный характер, в дальнейшем лягут в основу оценки условий развития опасных склоновых процессов в районе Долины Гейзеров (долина р. Гейзерной).

Использованная литература

1. Золотарев Г.С. Методика инженерно-геологических исследований. – М.: Изд-во МГУ, 1990. - 384 с.
2. Методическое письмо по проведению обследований территорий и объектов при ведении государственного мониторинга состояния недр на территории Российской Федерации (общие положения)/Сост. А.С.Возняковский, О.В.Зеркаль, С.Л.Пугач – М., Изд-во МГУ, 2001. - 16 с.
3. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. – М.: Недра, 1984, т. 1. Полевые методы. - 423 с.

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ на геотермальных объектах

Сроки: июль –август 2009 г

Район: конуса Большого трещинного Толбачинского извержения (Усть – Камчатский р-н), Мутновское геотермальное месторождение (Елизовский р-н)

Количество человек: 3

Транспорт: автомобильный

Размещение: палаточный лагерь

Цель: отработка методики анализа газов на термальных площадках и скважинах с разной обводненностью и температурными параметрами с помощью портативного автономного масс-спектрометра МС 7 – 100.

Основные результаты: отработаны методики пробоотбора и анализа газов с помощью портативного масс-спектрометра непосредственно на природных объектах: гидротермальных системах и конусах БТТИ. Отрабатывается программа идентификации и количественного обсчета спектров, полученных с помощью масс-спектрометра МС 7 -100.

В 2009 г. были проведены работы, связанные с отработкой методик отбора газов и их анализом, с помощью портативного масс-спектрометра МС 7 -100, непосредственно на месте отбора газовых проб.

На Мутновском гидротермальном месторождении, участок «Медвежка» при отработке газовых масс-спектрометрических измерений было отмечено аналогичное явление, которое было обнаружено в Долине Гейзеров в 2008 г. Утром в булькающих грязевых котлах температура доходила до 103 град С. К обеду она уменьшалась до 96 град С. Вечером температура была в пределах 96 град С. При этом отмечалось уменьшение поверхностного кипения и бульканья в грязевых котлах. Рис 1

За полевой сезон 2009 г отрабатывались методики отбора газов на разных термальных площадках гидротермальных систем и конусах БТТИ. Результаты полевых работ обрабатываются и будут опубликованы. Примеры отработки методик отбора газов показаны на Рис 2, 3, 4. Максимальная температура, обнаруженная на БТТИ в 2009 г, составляет 340 град С.

В районе Долины Гейзеров повторные газодинамические исследования не проводились в связи с травмой основного исполнителя, полученной при полевых работах на конусах БТТИ.



Рис 1. Измерение температуры в грязевом котле на термальном участке «Медвежка» Мутновского геотермального месторождения.



Рис 2 Отработка методики отбора газовой компоненты из грязевого котла на термальной площадке «Медвежка» Мутновского гидротермального месторождения.



Рис 3 Отработка методики отбора газа из сухой скважины недалеко от пос. Радыгино.



Рис 4 Отработка методики отбора вулканических газов с T более 100 град С.

Максимальная температура, обнаруженная на БТТИ в 2009 г, составляет 340 град С.