

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКСПЕДИЦИИ НА СРЕДНИЕ КУРИЛЫ — НОВЫЙ ШАГ К РЕКОНСТРУКЦИИ ГЕОДИНАМИКИ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

*Б.В. Левин, чл.-к. РАН, О.Н. Лихачева, к.ф.-м.н.,
А.В. Рыбин, к.г.-м.н., О.М. Шестакова,
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН*

Курильские острова всегда привлекали исследователей, поскольку именно здесь наиболее драматично развиваются процессы столкновения плит земной коры, здесь ежедневно возникают землетрясения, регулярно происходят вулканические извержения (из 160 вулканов на Курилах известны 104 — действовавших в голоцене), примерно каждые 5 лет отмечаются сильные цунами. Крупные островные вулканические постройки высотой до 2200 м соседствуют здесь с глубоководным Курило-Камчатским желобом, достигающим глубины 9700 м. Детальное экспедиционное исследование труднодоступных Средних Курильских островов дает ценнейший научный материал для построения фундаментальных моделей геодинамической эволюции тектонических объектов, реконструкции современных движений земной коры и постижения тайн природы Тихоокеанского региона.

15 ноября 2006 г. восточнее острова Симушир произошло сильнейшее за всю историю сейсмологических наблюдений на Средних Курильских островах землетрясение с магнитудой $M_s = 8.1$ ($M_w = 8.3$). Вызванное им цунами отмечалось на побережье всего Тихого океана.

Вслед за этим событием в том же районе 13 января 2007 г. произошло еще одно сильное земле-



Первый десант. Рабочие моменты экспедиции
(фото предоставлено авторами)

трясение ($M_w = 8.1$), которое также вызвало цунами, хотя и более слабое. Поскольку на Средних Курильских островах в настоящее время нет населения, не было возможности получить данные о проявлениях этих событий в зоне, близкой к эпицентру.

Проведенные модельные расчеты цунами показали, что высота заплеска волны на ближайших к эпицентру островах могла превышать 10 м. Было просто необходимо по горячим следам провести обследование бухт о. Симушир и других островов в зоне влияния Симуширских землетрясений, причем сделать это обследование комплексным, включающим определение заплесков волн цунами, движений земной поверхности, изменений рельефа и растительного покрова, проявлений вулканизма и др.

Поэтому летом 2007 г. Институтом морской геологии и геофизики ДВО РАН при поддержке РФФИ была организована морская комплексная экспедиция в район Средних Курильских островов. Экспедиция включала два этапа и работала с 1 июля по 14 августа 2007 г. на теплоходе «Искатель-4» (порт приписки г. Корсаков).

В состав экспедиции вошли известные специалисты из разных институтов России, США и Японии (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Сахалинский областной краеведческий музей, Центр цунами Сахалинского управления ГМС, г. Южно-Сахалинск; Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток; Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский; МГУ им. М.В. Ломоносова, Институт океанологии РАН, г. Москва; Университет штата Вашингтон, Сиэтл, США; Университет префектуры Хоккайдо, Япония). Их совместная работа на общих объектах обеспечила высокий уровень проведенных исследований.

В целом с точки зрения научных исследований Курильские острова «освоены» весьма неравномерно.

Южные Курильские острова (Кунашир, Итуруп, Шикотан) — наиболее доступны, есть регулярное



Н. Разжигаева в поисках палеоцунами. Рабочие моменты экспедиции (фото предоставлено авторами)

воздушное и морское транспортное сообщение. На сейсмостанциях и метеостанциях в пп. Южно-Курильск и Курильск ведутся постоянные наблюде-

ния. Ежегодно здесь работают экспедиционные отряды лабораторий вулканологии, сейсмологии, цунами, экологических проблем ИМГиГ ДВО РАН, а также экспедиции других институтов РАН.

На Северные Курильские острова попасть гораздо сложнее. На о. Парамушир в п. Северо-Курильск можно добраться через г. Петропавловск-Камчатский попутным судном или вертолетом. В поселке есть метеостанция и сейсмостанция, ведутся постоянные наблюдения за уровнем моря и регистрируются сейсмические события.

Средние Курильские острова (Уруп, Симушир, Кетой и др.) в настоящее время являются практически недоступными. Последний регулярный морской рейс по маршруту Владивосток — Корсаков — Петропавловск-Камчатский состоялся в начале 1990-х годов.

Метеостанции на о. Матуа, Симушире и Уруп были закрыты в 1995 году. Никаких регулярных наблюдений на протяжении от о. Итуруп на юге до о. Парамушир на севере Курильской гряды не проводится уже 13 лет.

Следует отметить, что интерес ученых к Средним Курилам всегда оставался большим. Этому способствовало обнаружение так называемой сейсмической брешы (зоны сейсмического затихания), которая трактуется как предвестник грядущего сильного землетрясения. Дискуссии на эту тему велись научной общественностью на протяжении нескольких лет, причем сталкивались кардинально противоположные точки зрения.

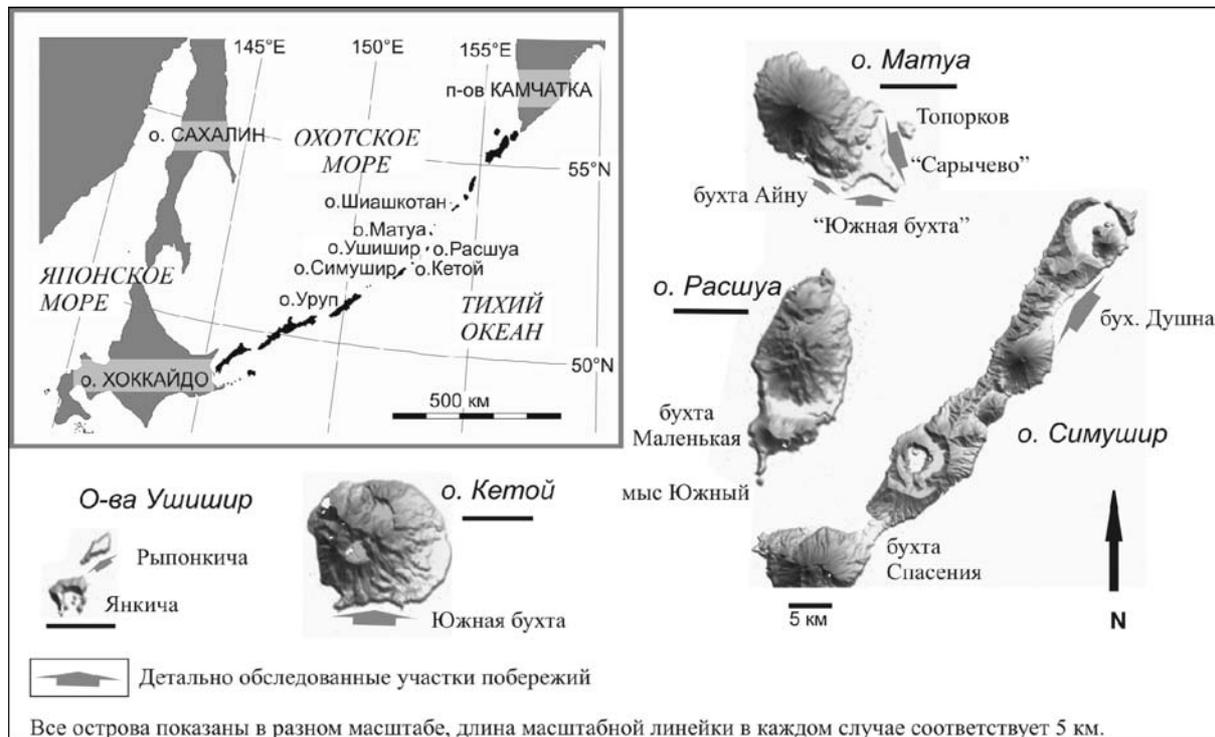


Рис. 1. Район экспедиционных работ и участки обследованных побережий



Первый датчик на о. Кетой. Рабочие моменты экспедиции (фото предоставлено авторами)

Первая эпоха геодезических наблюдений на о. Уруп была начата сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН в 2005 г. при частичной поддержке РФФИ. Эти наблюдения были продолжены в 2006 г. в рамках проекта Национального научного фонда США «Курильский биоконплексный проект: человеческая уязвимость и способность к восстановлению при субарктических изменениях», № ARC-0508109 (руководитель проекта доктор Бен Фитцью), в котором с российской стороны участвовали сотрудники Сахалинского краеведческого музея, Института морской геологии и геофизики ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск), Тихоокеанского института

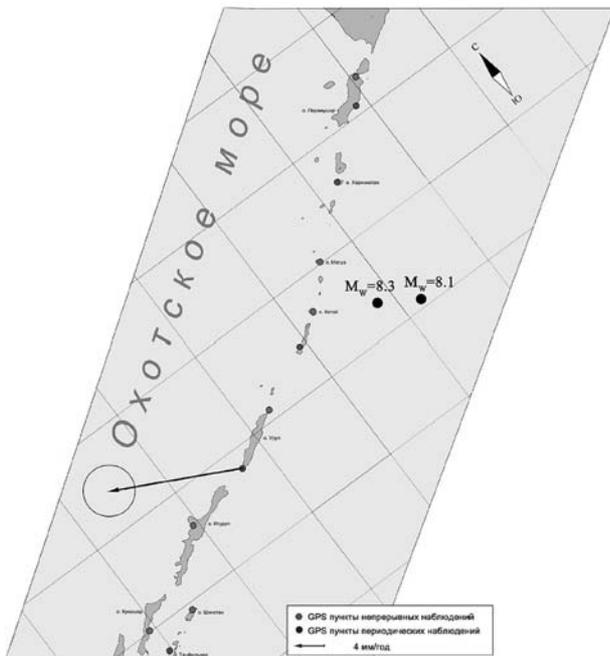


Рис.2. Геодинамическая сеть Курильских островов и горизонтальная GPS скорость о. Уруп за период 2005–2006 гг. Эпицентры Симуширских землетрясений 15.11.2006 г. и 13.11.2007 г. показаны по данным международной сейсмологической службы Harvard

а



б



Рис. 3. Автономная GPS станция непрерывной регистрации (о. Матуа): а — пилон с антенной; б — контейнер с GPS приемником и батарейным питанием

географии ДВО РАН (г. Владивосток), Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский) и др.

Экспедиционные работы 2007 г. имели главной задачей полевое обследование побережий островов и поиски проявлений цунами 2006–2007 гг., а также следов исторических цунами. Многие участники Экспедиции-2007 уже работали в районе Средних Курил летом 2006 г., им представилась уникальная возможность сравнить участки побережий до и после землетрясений и



Рис. 4. Вулкан Синарка на острове Шикотан

цунами. Надо заметить, что ИМГиГ ДВО РАН в течение многих лет являлся главным организатором исследований, связанных с проявлением сейсмических событий и цунами в Сахалино-Курильском регионе: Япономорское цунами 1993 г., катастрофическое Шикотанское землетрясение и цунами 1994 г., Нефтегорское землетрясение 1995 г., а также катастрофическое Индонезийское землетрясение и цунами 2004 г.

Второй важной задачей было изучение состояния вулканической деятельности в центральном сегменте Курильской дуги. Здесь расположено 8 действующих вулканов, из которых 7 извергались в двадцатом веке. Несмотря на отсутствие в этом районе постоянного населения, вулканы Средних Курильских островов представляют серьезную опасность для трасс самолетов российских и международных авиалиний, пролегающих в Курило-Охотском районе. Эта опасность связана с пепловыми выбросами при извержениях вулканов. Помимо этого существует вероятность генерации разрушительных цунами в результате вулканических извержений.



Рис. 5. Фумарольная активность в кратере вулкана Синарка



Рис. 6. Кальдера вулкана Заварицкого на острове Симушир

Надо отметить, что вулканы Центральных Курил изучены довольно слабо. В настоящее время практически единственным источником информации об их геологическом строении служит монография Г.С. Горшкова, опубликованная в 1967 г., и несколько публикаций камчатских и сахалинских вулканологов. Последние полевые работы на этих вулканах проводились вулканологами более 25 лет назад.

Сегодня единственным оперативным источником информации о вулканической активности на Центральных Курильских островах являются космические снимки, что явно недостаточно для оценки степени вулканической опасности этой территории.

Особый интерес представляет комплексное эколого-ботаническое обследование труднодоступных островов Средних Курил, включающее изучение особенностей растительности, выявление редких видов сосудистых растений и специфических черт биофлоры. И, безусловно, необходимо использовать уникальную возможность зафиксировать результаты воздействия Симушир-



Рис. 7. Вулкан Сарычева на острове Матуа

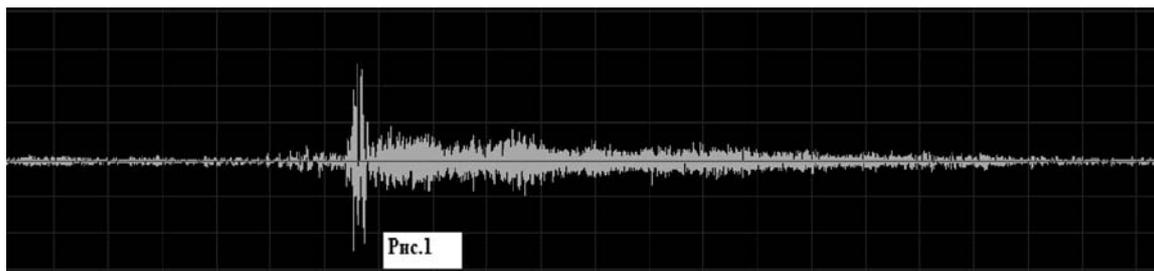


Рис. 8. Запись гидроакустического сигнала, имеющего геоакустоэмиссионную природу, сделанная в северо-восточной части о. Симушир. Запись получена при нахождении судна в дрейфе

ских землетрясений и цунами 2006 и 2007 гг. на растительность островов в первый вегетационный сезон после событий.

Одной из фундаментальных проблем современной экологической ботаники является изучение системы «растение — среда» в районах активного вулканизма. В связи с этим особую значимость приобретает возможность исследования воздействия активных проявлений курильских вулканов на анатомо-морфологическую структуру древесных растений, а также выявление специфических эколого-фитоценологических черт микроландшафтов гидротермальных систем.

Цели и задачи экспедиции.

1. Обследование проявлений землетрясения и цунами 15 ноября 2006 г., в том числе поиск сейсмических разрывов и определение заплесков цунами вдоль побережья Средних Курильских островов.

2. Выполнение GPS-измерений на островах Симушир, Уруп, Кетой и Матуа с максимальным проявлением косейсмических эффектов. Постановка новых автономных станций непрерывной GPS-регистрации и GPS-измерения на островах для изучения постсейсмических эффектов и для получения дополнительных данных о механизме очага этого землетрясения.

3. Изучение геологической истории развития кальдерных вулканов Центральных Курильских островов в плейстоцене-голоцене (хронология вулканических извержений, петролого-геохимическая характеристика основных этапов вулканической деятельности, оценка объемов извержений. Обследование изменений в геологическом строении и режиме гидротермальной деятельности вулканов Заварицкого, Горящая сопка на о. Симушир и вулкана Синарка на о. Шиащкотан.

4. Поиск и идентификация отложений палеоцунами, картирование связанных с ними зон затопления. Определение максимальных высот и дальности проникновения наиболее катастрофических цунами. Датировка древних сейсмических событий тефрохронологическим и радиоуглеродным методами. Выявление одновременных палеоцунами и корреляция геологических разрезов, содержащих отложения палеоцунами, для различных районов побережья.

5. Изучение гидроакустическими методами тонкослоистой структуры верхней кромки осадочных пород в шельфовой и прибрежной акваториях в районе о. Симушир с целью: а) исследования проявлений сильного цунамигенного землетрясения 15 ноября 2006 года на тонкослоистой структуре донных осадков; б) поиска возможных активных разломов на мелководье; в) обнаружения месторождений газовых гидратов.

6. Комплексное эколого-ботаническое обследование Средних Курильских островов.

Эти задачи выполнялись мобильными полевыми отрядами, которые действовали как автономно, так и совместно. В экспедиции были сформированы следующие отряды: гидрофизический, геодезический, вулканологический, палеогеографический, экологический, два археологических и два отряда цунами. Всего в двух этапах экспедиции приняло участие 40 человек. Ниже приводятся основные результаты полевых работ.

1. Проявление цунами на побережьях островов

Наиболее высокие заплески цунами были выявлены на о. Матуа, где их средняя высота превышала 10 м, а максимальные значения заплеска достигали 20 м. В бухте Айну (юго-запад о. Матуа) цунами сильно изменило морфологию берега, размыв участок морской аккумулятивной террасы шириной 20–30 м. В бухте Душной (северо-восточная часть о. Симушир) цунами оставило на

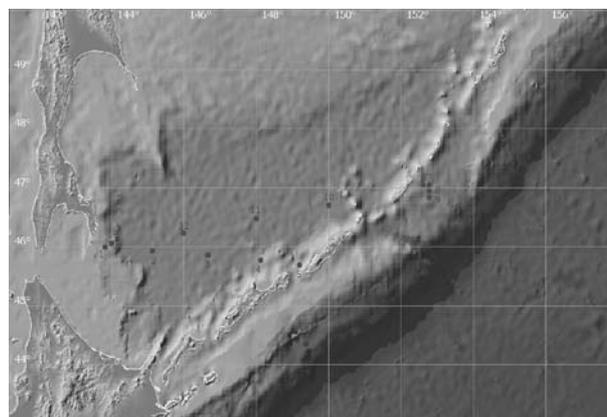


Рис. 9. Размещение станций гидрологических измерений



Рис. 10. Нарушенные растительные сообщества первой морской террасы бухты Душная, о. Симушир

морской террасе многочисленны промоины. Помимо эрозии, на обследованных побережьях повсеместно наблюдалась и аккумуляция. Отложения цунами представлены морским песком, галькой, валунами, перемещенным в сторону суши плавником. На крутых склонах берегов во время цунами была частично уничтожена растительность и смыта почва.

На юго-востоке о. Симушир интенсивность цунами была уже значительно ниже, а на юге о. Уруп высоты заплесков цунами не превысили высоты заплесков штормовых волн и составили не более 4–6 м, а возможно и меньше.

2. Макросейсмические эффекты на островах Симушир и Матуа

Поселок Кратерный на о. Симушир находился в 85–90 км от инструментального эпицентра землетрясений. В поселке имеются различные сооружения и постройки: жилые дома, общежития, казармы, столовые, 10-летняя школа, детский сад, отделение связи, вертолетные площадки с посадочной полосой, ангары, гаражи, склады, мастерские, дизельные электростанции, склады ГСМ и прочие объекты.

Все обследованные здания были построены с середины 70-х до конца 80-х гг., т. е. после утверждения ОСР-76 и ОСР-84, по которым Курильские острова относились к 8- и 9-балльной зоне. Повреждения построек в ходе землетрясений в большинстве случаев соответствуют 1-й, реже 2-й степени (легкие и умеренные повреждения) согласно шкале классификации повреждений MSK-64. На основании приведенных выше данных можно сделать вывод, что сила сотрясений на севере о. Симушир в момент сильнейшего ноябрьского землетрясения не превышала 6–7 баллов.

На о. Матуа проведено обследование построек, дорог и военных сооружений. Часть из них использовалась до недавнего времени (военные

покинули остров несколько лет назад). Ряд сооружений был построен в советское время. Сюда относятся деревянные здания складов и казарм, кирпичные и шлакоблочные склады. Обследование построек практически не выявило следов разрушений. Наибольшие нарушения построек наблюдались лишь вдоль узкой прибрежной полосы в результате воздействия цунами.

Можно полагать, что интенсивность сотрясений о. Матуа во время Симуширских землетрясений 15.11.2006 и 13.01.2007 была не более 5–6 баллов.

3. Геодезические наблюдения

Геодинамические исследования в зоне схождения Тихоокеанской и Североамериканской (Охотской) литосферных плит с использованием GPS-методов начаты в 2005 г. наблюдениями на юге о. Уруп. В 2006 г. Курильская островная дуга на всем ее протяжении была охвачена крупномасштабной сетью GPS наблюдений, в состав которой вошли 5 пунктов непрерывных и 6 пунктов периодических наблюдений. По результатам повторных измерений для о. Уруп получена первая инструментальная оценка скорости тектонических движений: 18 ± 3 мм/год относительно Североамериканской (Охотской) литосферной плиты. Направление смещения совпадает с направлением поддвига Тихоокеанской плиты под Североамериканскую (Охотскую) в глобальной геологической модели Земли NUVEL-1A.

Повторными GPS-наблюдениями, выполненными летом 2007 г на пунктах периодической регистрации, ближайших к эпицентральной зоне землетрясений, определен суммарный эффект обоих землетрясений (косейсмический и ранний постсейсмический).

На о. Кетой и Матуа (~150 км от эпицентров) горизонтальная подвижка достигает величины 600 мм в юго-восточном направлении.



Рис. 11. Последствия воздействия цунами на отдельные растения — *Pinus pumila* и *Phyllodoce aleutica* в бухте Душная, о. Симушир

Для изучения постсейсмической релаксации напряжений в эпицентральной зоне Симуширских землетрясений в 2007 г. на о. Кетой и Матуа дополнительно установлены автономные GPS-станции непрерывной регистрации с годовым запасом батарейного питания, кроме того, на о. Симушир заложен новый пункт периодических GPS-наблюдений.

Последующие наблюдения на пунктах Курильской геодинамической сети позволят установить вариации скоростей тектонических движений, связанные с накоплением и сбросом напряжений в зонах подготовки и реализации сильных землетрясений, а также получить первые сведения о межсейсмических скоростях современных движений в зоне конвергенции Североамериканской (Охотской) и Тихоокеанской литосферных плит.

4. Вулканологические исследования

В результате выполнения программы полевых работ впервые за 25 лет получена детальная информация о современном состоянии вулканов Заварицкого (о. Симушир) и Синарка (о. Шиашкотан). Усиление активности фумарол на вулкане Синарка дает возможность предположить о вступлении вулкана в активную стадию и возможных извержениях в ближайшем будущем. Для сопоставления результатов дистанционных методов и наземных наблюдений была проведена термальная съемка на этих вулканах. Полученные данные показывают, что тепловой поток на вулканических постройках превышает фоновый уровень в 2–10 раз. Эти результаты могут быть использованы в дальнейшем для детализации данных ДСЗ в тепловом диапазоне.

Практически все современные вулканы Средних Курильских островов возникли в посткальдерную стадию развития более крупных вулканических построек. Их формированию предшествовали гигантские выбросы пемзово-пирокластического материала.

Характер строения почвенно-пирокластического чехла показал, что вулканы Заварицкого и Чиринкотан во второй половине голоцена были чрезвычайно активны — они относятся к числу наиболее активных вулканов Курильских островов. Эти вулканы с высокой частотой (не реже 1 раза в столетие, так как в период покоя почва не успевала образовываться) выбрасывали значительное количество пирокластического материала.

5. Палеогеографические исследования

На о. Матуа было произведено подробное обследование антропогенных ландшафтов, которые активно использовались в первой половине XX века, что позволяет оценить устойчивость и способность восстановления природных ландшафтов при разных типах хозяйственной деятельности.

При исследовании прибрежной полосы на Средних Курилах были выявлены различные виды влия-



Возвращение. Рабочие моменты экспедиции
(фото предоставлено авторами)

ния волн цунами 2006–2007 гг. на прибрежные ландшафты. В результате предварительной обработки выделено три типа цунамигенного влияния.

— Эрозионное разрушение штормовых валов и абразионных уступов, что приводит к полному разрушению растительного и почвенного покрова. Восстановление ландшафтов на таких участках займет достаточно продолжительные интервалы времени, а на отдельных участках, возможно, ландшафты не восстановят своего первоначального состояния.

— Покрытие террасовидных поверхностей морскими отложениями: песками, в отдельных случаях галькой, остатками морской растительности и бревнами. При таком типе влияния происходит, главным образом, уничтожение травянистого покрова. Восстановление первоначальных ландшафтов займет, возможно, 1–2 года.

— Засоление почвенного покрова морской водой, что приводит к высыханию или сильному угнетению травянистой, кустарничковой и древесной растительности. Восстановление травянистого покрова, скорее всего, произойдет за 1 год.

Предполагается провести комплексное изучение опорных разрезов голоценовых отложений овов Симушир, Матуа, Рыпонкича, Расшуа, Уруп, включающее спорово-пыльцевой, диатомовый, радиоуглеродный анализы, изучение химического состава прослоев тефры (микрозондовый метод).

6. Гидрофизические исследования

Для разработки методик обнаружения подводных акустических шумов сейсмического происхождения проведены методические работы по использованию новой гидрофонной станции, разработанной в ИМГиГ ДВО РАН.

Регистрация гидроакустических сигналов осуществлялась на якорных стоянках, при глубинах места 20–25 метров возле о. Уруп, Симушир (бухта Душная, перешеек Косточко), Кетой (бухта Юж-

ная). Гидроакустические исследования шумов на мелководных морских акваториях в условиях островных шельфовых зон Средних Курил продемонстрировали возможность обнаружения сигналов геоакустической природы на фоне помех, создаваемых прибоем, ветровым волнением и судовыми шумами, при использовании простых гидрофонных станций, т.е. приемников, не обладающих пространственной селекцией. Было установлено, что в период наблюдений в районе отсутствовала интенсивная геоакустическая эмиссия — краткосрочный предвестник сильного землетрясения (по данным СФ ГС РАН с 08.07.2007 по 13.07.2007 в районе Средних Курил сильные землетрясения ($M > 5$) также не были зарегистрированы).

Гидрологические измерения также проводились с борта судна. Для измерений использовался STD-зонд фирмы SeaBird Electronics — SBE 19 Plus, серийный номер 4165. Рабочий диапазон 0–3500 метров, частота опроса датчиков — 4 Hz. Измеряемые параметры — электропроводность (соленость расчетным путем), температура, давление. Измерения проводились в диапазоне 0–220 м. Для опускания и подъема прибора использовалась ручная лебедка, а также якорный шпиль судна. Из-за большого ветрового дрейфа судна на станциях (и большого угла наклона троса) диапазон некоторых измерений сокращался до 160 м. Обработка данных проводилась с учетом коррекции атмосферного давления (глубина), также программным обеспечением SBE вводилась поправка на волнение. Всего было выполнено 13 станций.

7. Экологические исследования

В результате полевых работ было установлено, что отдельные виды растительности могут являться яркими индикаторами проявления волны цунами. Удалось выявить наиболее чувствительные виды к механическому и физико-химическому воздействию катастрофической морской волны — многолетне-зимнезеленые стланики и кустарнички: *Pinus pumila* (Pall.) Regel и *Phyllodoce aleutica* (Spreng.) A. Heller. Характер повреждения растений выражается в разрыве скелетных осей, нарушении корневой системы, отмирания листьев, в особенности многолетних. Эти факты позволяют более четко определить линию затопления и высоту заплеска волны цунами.

Выполненная работа позволила получить важные результаты относительно выявления индикаторных видов, структурных изменений растительности прибрежной части Курильских островов, с позиции возможности определения высоты заплеска волны цунами, восстановления возможного сценария развития исторических событий, связанных с землетрясениями и цунами.

Своеобразие ботанического облика Курильских островов находит выражение в особом сочетании бореальных и субтропических элементов в растительности. В курильских лесах соседствуют дубы, вязы и магнолии, пихты и сумахи, гортензии, бамбуки. Во флоре Курильских островов насчитывается 1393 видов сосудистых растений, при этом значительно число общих видов с северной Японией на южных островах и с Камчаткой — на северных. Число эндемичных видов незначительно — не более 30, а их слабая морфологическая обособленность от близких видов с соседних территорий свидетельствует об их молодости и недавней географической изоляции. Эндемичные виды представлены среди злаков, осок, остролодочников, одуванчиков, горечавок, полыни и др.

Здесь приведен только общий обзор выполненных работ и полученных результатов. Исследователи ожидают результатов анализов образцов пород, грунтов, пеплов, определения гербарных сборов, привезенных с островов.

А впереди новый полевой сезон, и ученые надеются продолжить изучение Средних Курильских островов в экспедиции 2008 г., которая также будет осуществляться при поддержке различными грантами РФФИ.

Финансирование проекта:

Аренда теплохода «Искатель-4» для выполнения первого этапа экспедиции 2007 года осуществлялась за счет гранта РФФИ № 07-05-10070_к: «Организация и проведение комплексной экспедиции на Курильских островах с целью изучения проявлений землетрясения и цунами 15 ноября 2006 года, активных вулканов и современных движений Земной коры» (руководитель член-корр. РАН Левин Б.В.) и финансовой поддержки на экспедиционные работы ДВО РАН. Второй этап финансировался в рамках проекта Национального научного фонда США «Курильский биокомплексный проект: человеческая уязвимость и способность к восстановлению при субарктических изменениях». № ARC-0508109 (руководитель проекта доктор Бен Фитцхью; соруководитель по вулканологической части проекта от ИМГиГ ДВО РАН к.г.-м.н. Рыбин А.В.). Кроме того, для подготовки экспедиционных работ (приобретение оборудования и снаряжения) были использованы гранты РФФИ (07-05-00363, 06-05-08098) и гранты ДВО РАН. Авторы и все участники экспедиции приносят искреннюю благодарность руководству РФФИ и сотрудникам отдела наук о Земле за реальную помощь в организации экспедиции 2007 года на Средние Курилы и оперативное взаимодействие, без которого выполнение экспедиционных работ было бы просто невозможным.