Т.К. Пинегина[1], А.И. Кожурин[2], В.В. Пономарева[1]
[1]Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия
[2]Геологический институт РАН, Москва, Россия

РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТЬ-КАМЧАТСКОГО АКТИВНОГО РАЗЛОМА

Полуостров Камчатский, находясь на продолжении Командорского отрезка Алеутских островов, выступает в виде связующего звена между Алеутской и Камчатской островными дугами. В настоящее время общепринятым является предположение о том, что причиной деформации Камчатского полуострова является сближение Алеутской и Камчатской островных дуг, их коллизионное взаимодействие, связанное с движением Командорского блока на северо-запад вдоль трансформного разлома западных Алеут [3, 5, 8].

В пределах Камчатского полуострова и примыкающей к нему с запада Столбовской депрессии выделен ряд активных разрывных нарушений [2, 6, 7]. Само их наличие предполагает возникновение здесь время от времени сильных коровых землетрясений, вызываемых подвижками по разломам, с выходом сейсморазрывов на земную поверхность. Сильные коровые землетрясения, происходящие вблизи п. Усть-Камчатск, могут причинить ему даже бóльший ущерб, чем относительно удаленные землетрясения на границах Тихоокеанской плиты. Оценка повторяемости и параметров сильных коровых землетрясений была сделана на основе детального изучения одного из наиболее близких к п. Усть-Камчатск активных разломов (рисунок).

В качестве основного метода выделения и картирования активных разломов в районе исследований применялось дешифрирование аэрофотоснимков и детальных космических снимков, при котором распознавались деформации форм рельефа позднеплейстоценового–голоценового возраста и, насколько возможно, направление движений по разломам (кинематика). Данные о возрасте и повторяемости отдельных подвижек, средней скорости движений по разлому и их направлении были получены при изучении деформированных разломом отложений, вскрытых в стенках канав. Проходка канав предварялась маршрутными геоморфологическими наблюдениями вдоль разлома. Помимо геолого-геоморфологических наблюдений вдоль разлома, проводилась георадарная съемка. Предваряющая тренчинг георадарная съемка позволяет оценить глубину, на которой канава может вскрыть верхнюю часть плоскости разрыва. Дополнительным методом при изучении активных разломов служила детальная (высота сечения рельефа ≤0.25 м) топографическая съемка местности. Такая съемка была выполнена на ключевом участке Усть-Камчатского разлома с использованием электронного тахеометра Trimble M3. Ее результаты позволили выявить детали морфологии разломного уступа, смещенных форм рельефа и на этой основе интерпретировать кинематику разлома. После построения трехмерной модели рельефа она анализировалась в программе Global Mapper.

Особенностью голоценовых рыхлых отложений на Камчатке является присутствие в них горизонтов вулканических пеплов (тефры) [4]. С помощью прослоев тефры можно также провести корреляцию между крыльями разлома и, соответственно, выполнить палеосейсмологическую интерпретацию вскрытого канавой разреза. Зная возраст деформированных разрывом и недеформированных пеплов, уже во время полевых исследований можно примерно определить возрастной интервал, в пределах которого произошла подвижка по разлому. Для идентификации пеплов в районе п. Усть-Камчатск мы использовали опорный разрез торфяника Черный Яр, вскрытый в левом борту р. Камчатка [1].

Наиболее близко расположенный к п. Усть-Камчатск активный разлом протягивается в 15 км к западу от него и пересекает р. Камчатка. Простирание разлома −

ССВ (от 15° на юге до 25−30° на севере). Протяженность видимой на земной поверхности линии разлома, названного нами Усть-Камчатским, составляет 20−25 км. Очевидно, что разлом продолжается и в акваторию Камчатского залива и приведенное значение – только минимальная оценка его длины.

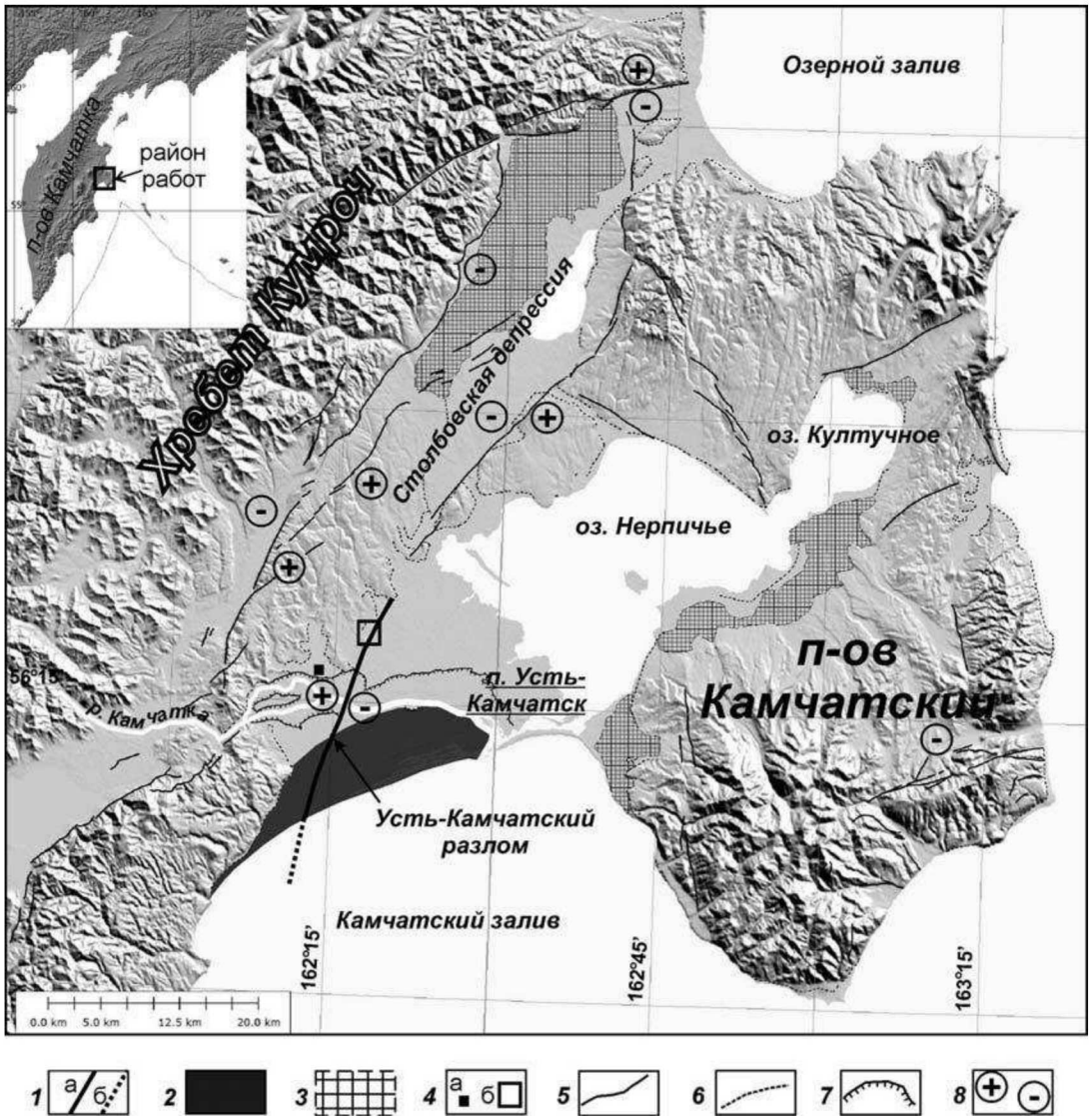

Схема района исследований.

1 – Усть-Камчатский разлом (а) и его возможное подводное продолжение (б); *2* – голоценовая морская аккумулятивная терраса на правобережье р. Камчатки; *3* – позднеплейстоценовые–голоценовые пролювиально-делювиальные конусы выноса; *4* – положение опорного разреза Черный Яр (а) и района детальных исследований на руч. Извилистый (б); *5* – активные разломы; *6* – выраженный в рельефе абразионный уступ, соответствующий максимальному уровню моря в голоцене (около 6.5 тыс. л.н.); *7* – границы долины р. Камчатки в ее нижнем течении; *8* – поднятые (+) и опущенные (–) крылья активных разломов.

По соотношению с формами рельефа наземная часть разлома делится на два отрезка. Южный отрезок разлома протягивается в пределах голоценовой аккумулятивной морской террасы и сечет часть береговых валов. Северный отрезок пересекает плоскую заболоченную поверхность, под которой сплошным покровом развит торф. Мощность торфяника в среднем составляет от 2 до 4 м; под торфом залегают лагунные отложения, представленные серыми иловатыми песками. В основании торфа, опробованного в районе георадарного профиля № 5, нами получена дата 5060±30 ^{14}C лет (OS-80032), то есть торф

начал накапливаться около 5800 л.н. На всем протяжении наземной части разлом прослеживается в виде пологого обращенного на восток уступа с относительным превышением западного крыла над восточным примерно в 3 м. Линия разлома непрерывна и лишь в редких местах разрывается, образуя левосторонние подставления.

Судя по полученным данным, за последние ~5800 лет по Усть-Камчатскому разлому произошло три или четыре подвижки: 5800−5600, ~4700 и 300−800 л.н. в северной части и ~ 1700 л.н. в южной. Если исключить из рассмотрения событие ~ 4700 л.н., которое могло быть связано с подвижкой по одному из соседних разломов, то в целом для разлома среднее значение повторяемости подвижек составит около 2.5 тыс. лет.

Вся наземная часть разлома протягивается в пределах очень молодой слабо-расчлененной поверхности. Уступ, которым он проявлен, явно свидетельствует о наличии вертикальной компоненты в движениях по разлому. Вертикальное смещение хорошо видно и в разрезе молодых отложений, вскрытых канавой в северной части разлома. В то же время, как было отмечено выше, структура нарушенной части разреза не позволяет отнести разлом к чисто взбросовым (в условиях сжатия), более соответствуя сдвиговой кинематике.

О сдвиговой кинематике разлома говорит, прежде всего, отчетливо проявленная кулисность в расположении его отрезков, например в северном окончании разлома, в районе канавы. Отрезки разлома образуют левокулисное подставление, а изученный в канавах и шурфах вал располагается между ними. Поведение слоев молодых отложений в пределах вала прямо указывает на антиклинальную природу вала и, соответственно, на его образование в условиях горизонтального сокращения. В целом, такое сочетание разломных плоскостей и структуры сжатия между ними может быть интерпретировано как проявление правосторонних движений по разлому.

Исходя из зависимостей, полученных на основе эмпирических данных [9], Усть-Камчатский разлом (при его минимальной длине в 20 км и минимальной амплитуде разовой подвижки в 1.5 м) может генерировать землетрясения с M~6.5–7.5.

Усть-Камчатский разлом представляет собой лишь один элемент из целой системы разломов, расположенных в приближенном к п. Усть-Камчатск районе. Принимая, что период повторяемости подвижек по всем активным разломам в районе примерно сопоставим, следует считать, что в целом для района повторяемость сильных коровых землетрясений может быть раз в первые сотни лет.

Исследования проведены при поддержке РФФИ (проекты № 09−05−00125, 11−05−98534, 11−05−00136 , 09−05−00286).

Литература

1. Певзнер М.М., Пономарева В.В., Мелекесцев И.В. Черный Яр – реперный разрез голоценовых маркирующих пеплов северо-восточного побережья Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1997. № 4. С. 3–18.

2. Пинегина Т.К., Кожурин А.И., Пономарева В.В. Оценка сейсмической и цунамиопасности для поселка Усть-Камчатск (Камчатка) по данным палеосейсмологических исследований // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. Вып. 19, № 1. С. 7–28.

3. Apel E.V., Burgmann R., Steblov G. et al. Independent active microplate tectonics of Northeast Asia from GPS velocities and block modeling // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33, № 11. L11303.

4. Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D. et al. Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia // Quaternary Res. 1997. № 47. P. 125–139.

5. Gaedicke C., Baranov B., Seliverstov N. et al. Structure of an active arc-continent collision area: the Aleutian-Kamchatka junction // Tectonophysics. 2000. V. 325. P. 63–85.

6. Kozhurin A.I. Active faulting at the Eurasian, North American and Pacific plates junction // Tectonophysics. 2004. V. 380. P. 273–285.

7. Kozhurin A.I. Active faulting in the Kamchatsky Peninsula, Kamchatka-Aleutian Junction // American Geophysical Union, Geophysical Monograph Series «Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region» / Eds: J. Eichelberger, E. Gordeev, M. Kasahara et al. 2007. V. 172. P. 263–282.

8. Mackey K.G., Fujita K., Gunbina L. et al. Seismicity of the Bering Straight region: evidence for a Bering block // Geology. 1997. V. 25. P. 979–982.

9. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bulletin of the Seismological Society of America. 1994. V. 84, №. 4. P. 974–1002.

А.Ю. Полец

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,
Южно-Сахалинск, Россия

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРЕД ЯПОНСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 11.03.2011 Г.

11 марта 2011 г. в 373 км к северо-востоку от Токио, у восточного побережья острова Хонсю, Япония, произошло мегаземлетрясение с моментной магнитудой *M*w=9.1, повлекшее за собой человеческие жертвы и разрушения. Землетрясение вызвало сильное цунами, высота приливной волны в ряде районов превысила десять метров. По данным Японского метеорологического агентства [4], событие 11 марта признано сильнейшим в истории страны и вошло в десятку сильнейших землетрясений за всю историю сейсмических наблюдений в мире. По данным Национального центра информации о землетрясениях Геологической службы США [5], параметры события 11.03.2011 г. были φ=38.32° с.ш., λ=142.37° в.д., глубина очага составила 29 км.

Японские острова составляют часть крупного сейсмологического пояса, окружающего Тихий океан. В 150 км к востоку острова Хонсю с севера на юг проходит граница двух гигантских тектонических плит – Тихоокеанской и Азиатской. Землетрясение 11 марта 2011 г. произошло на стыке этих плит. Исследования полей напряжений позволяют судить о современных тектонических процессах в недрах Земли, особенностях геодинамики земной коры и верхней мантии, механизме формирования сейсмофокальных зон и взаимодействии литосферных блоков [1]. Для оценки напряженного состояния земной коры в районе о. Хоккайдо был применен метод катакластического анализа (МКА) механизмов очагов землетрясений. Методика реконструкции тектонических напряжений создана Ю.Л. Ребецким [2]. МКА является развитием методологии изучения природных полей тектонических напряжений включает методы реконструкции ориентации осей главных напряжений и сейсмотектонических деформаций, по данным о совокупностях механизмов очагов землетрясений (М.В. Гзовский, О.И. Гущенко, С.Л. Юнга, Ж. Анжелье и др.).

Реконструкция напряженного состояния выполнялась на основе данных СМТ (тензоров моментов центроидов) – решений для землетрясений из каталогов NEIC [5]. Обработка исходных сейсмологических данных производилась, в пределах области 35–42° с.ш. и 137–146° в.д. в узлах сетки 0.25°x0.25° в латеральном направлении для интервала глубин 0–30 км. Японское землетрясение 11 марта 2011 г. в районе о. Хоккайдо, позволило рассмотреть особенности распределения напряжений и их изменения перед этим событием.

Напряженное состояние области возникновения землетрясения 11.03.2011 г., изученное по результатам тектонофизического анализа механизмов очагов землетрясений [2], отвечает режимам горизонтального сжатия. Для района исследований распределение эффективного всестороннего давления p^*/τ_f, (где p^* – относительное значение всестороннего давления, τ_f – эффективное внутреннее сцепление) носит мозаичный характер, однако в целом область подготовки Японского землетрясения 11 марта 2011 г. (интервал глубин 0–30 км) достаточно однородна и соответствует среднему уровню