

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.8:553.98(571.64)

И.Ю. Лободенко¹

ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНАЯ ТЕКТОНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ХЕЙТОНСКОГО РАЗЛОМА НА СЕВЕРЕ О. САХАЛИН

Статья посвящена проблеме сейсмической активности Хейтонского разлома, расположенного в северной части о-ва Сахалин. Разлом активный, хорошо выражен в рельефе, смещает отложения голоцена, изучен посредством заложения траншей. Рассмотрены его геоморфологическая выраженность, а также характер смещения толщ пород в стенках траншеи и рельефе. Приводятся убедительные доказательства наличия периодических резких подвижек по Хейтонскому разлому с амплитудами до нескольких метров, которые в свою очередь вызывали сильные землетрясения в недавнем прошлом.

Ключевые слова: активные разломы, Хейтонский разлом, о. Сахалин, п-ов Шмидта, сейсмическая опасность, тренчинг.

The article is devoted to a problem of seismic activity of Kheiton Fault situated in the northern part of Sakhalin Island. This fault is well expressed and displaces late quaternary deposits. The active faults were trenched and studied in details, its expressiveness in a relief and character of displacement of strata is discussed. Authors provide cogent evidences of sharp periodic motions at Kheiton fault with amplitudes up to several meters resulted in strong earthquakes of the past.

Key words: active faults, Sakhalin Island, Schmidt peninsula, seismic hazard for pipelines, trenching.

Введение. Об активных разломах в центральной и южной частях о-ва Сахалин вышла статья [Булгаков и др., 2002], в которой подчеркивается роль правосдвиговой тектоники в формировании северосахалинских структур. Основное структурное направление, вдоль которого реализуются правосторонние движения, — меридиональное, представленное Пильтун-Эхабинским разломом (наиболее северным элементом крупной активной структуры острова), а для центрально- и южносахалинских разрывов характерны взбросо-надвиговые перемещения. Кроме того, в указанной статье, которая до сих пор оставалась единственной специальной работой по палеосейсмодислокациям о-ва Сахалин, приводятся данные тренчинговых исследований по ряду разломов, оценивается период повторяемости активизации изученных разрывов и приводятся данные об амплитудах смещений.

Сведения об активной разломной тектонике п-ва Шмидта — северной оконечности о-ва Сахалин — приводятся только в работах В.С. Рождественского [Рождественский, 1975, 1979, 1988]. Он выделил несколько разломов в пределах полуострова, среди них Хейтонский и Лонгрийский разломы, показал их преимущественно правосдвиговую кинематику, общая амплитуда сдвига меловых и позднекайнозойских образований оценена им примерно в 14–15 км (включая «присдвиговые изгибы»). Для Хейтонского разлома «горизонтальная амплитуда разрывного смещения отчетливо устанавливается по разрыву и

правостороннему боковому смещению на 5,5 км стратиграфического контакта меловых и неогеновых отложений. На такое же расстояние смещены отдельные части разорванного сдвигом пояса даек неогеновых щелочных габброидов» [Рождественский, 1988].

Относительно кинематики молодых смещений, считалось, что это преимущественно взбросовые и основные правосдвиговые движения по продольным разломам Сахалина в палеоген-неогеновое время.

Перед автором, участвовавшим в специальных работах на самой северной части Сахалина — п-ове Шмидта в 2006–2007 гг., была поставлена задача определить наличие активных разломов и признаки активности «разломов Рождественского», а также установить их кинематику. Важность этих работ определяется не только необходимостью понять закономерности формирования структуры крайней северной части Сахалина в четвертичное время, нужно было оценить сейсмический потенциал разломов и степень сейсмической опасности, связанной с ними.

Фактической основой послужили результаты дешифрирования спутниковых изображений «Landsat», «Cogona», «Lanyard», трехсекундных цифровых моделей рельефа (ЦМР), аэрофотоснимков масштаба 1:25 000, а также полевые наблюдения и результаты тренчинга.

Фактический материал. К категории активных разломов относятся тектонические нарушения, по которым движения происходили в течение позднего плейстоцена–голоцена, что выражается в смещении

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, аспирант, e-mail: vanja_1984@rambler.ru

мелких форм рельефа и/или отложений соответствующего возраста [Трифонов, 1985, 2001]. «Наличие следов подвижек по разлому в некотором недавнем геологическом прошлом является основанием предполагать, что подвижки по нему возможны и в сопоставимом геологическом будущем. Разлом, движения по которому не только происходили, но и будут происходить, следует считать активным» [Кожурин и др., 2008].

Активные разломы, отчетливо выраженные в рельефе в виде уступов или горизонтальных сдвигов, рассматриваются как сейсмогенные [Стром, 1993, 1997], т.е. образовавшиеся при резком смещении пород при сильных землетрясениях, в промежутках между которыми не происходили существенные перемещения. В ряде случаев это однозначно подтверждается характером деформаций отложений в зонах разломов, вскрытых траншеями. Такие разломы отчетливо выделяются на цифровой трехсекундной модели рельефа. В долинах рек и ручьев, пересекающих такие уступы, удается выявить локальные разрывы, смещающие низкие террасы, что свидетельствует о голоценовом возрасте подвижек. Отсутствие признаков наиболее молодых (голоценовых) смещений в зоне регионального разлома на значительном протяжении указывает на то, что разлом на данном участке в это время не проявлялся.

По данным дешифрирования на полуострове выделены только два несомненно активных разлома — Хейтонский и Лонгрийский. Рассмотрим Хейтонский разлом, который почти непрерывен, его северное окончание находится в Охотском море, а южное — на суше, лишь его центральная часть выражена на аэрофотоснимках не очень отчетливо (рис. 1).

Уступ Хейтонского разлома, хорошо выраженный геоморфологически, прослежен на протяжении ~4 км. Он продолжается и севернее — у перевала из долины р. Б. Лонгри в верховья долины р. Три Брата и далее на север. В ходе реконгноспировочного обследования установлено, что в нижнем ярусе рельефа на левобережной террасе р. Б. Лонгри и далее на юг, где

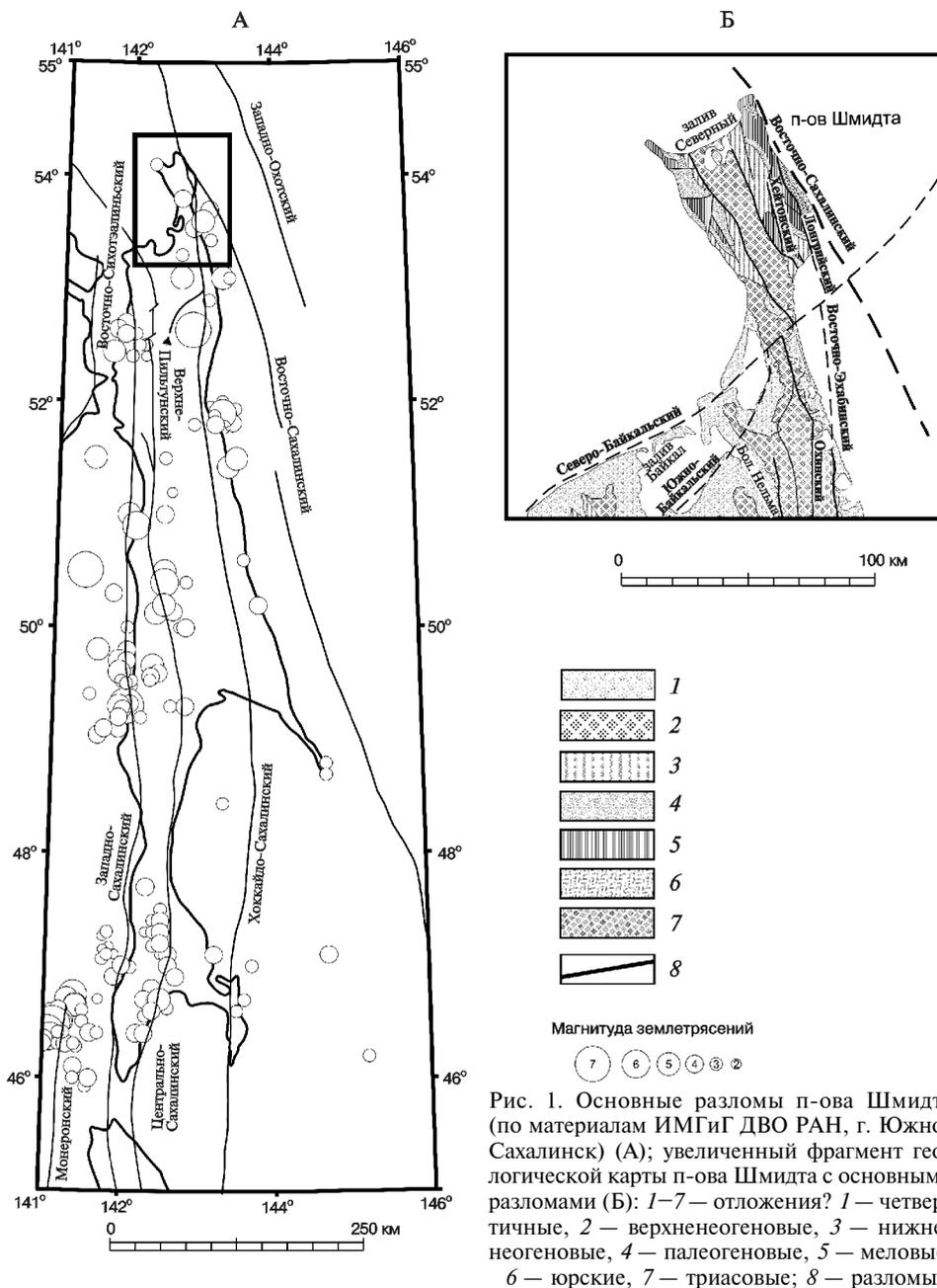


Рис. 1. Основные разломы п-ова Шмидта (по материалам ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск) (А); увеличенный фрагмент геологической карты п-ова Шмидта с основными разломами (Б): 1–7 — отложения? 1 — четвертичные, 2 — верхнеэоценовые, 3 — нижнеэоценовые, 4 — палеогеновые, 5 — меловые, 6 — юрские, 7 — триасовые; 8 — разломы

разлом пересекает крутой поворот долины на восток, молодой разрыв выражен в рельефе в виде уступа высотой 0,5–2,5 м с поднятым западным крылом. В пойме высотой до 1 м над урезом реки видимые признаки разрыва не обнаружены (рис. 2).

Достоверные признаки сдвиговых смещений по разрыву на этом участке не установлены, но в качестве косвенного признака правосторонних смещений можно указать изменение высоты уступа к югу от р. Б. Лонгри от 0,5 до 2,5 м. Вблизи локального водораздела высота уступа минимальна и увеличивается вниз по склону, что может быть обусловлено сдвигом пологой положительной формы рельефа (профили на рис. 2). Через уступ, показанный на рис. 2, была пройдена траншея, описание которой приводится на рис. 3.

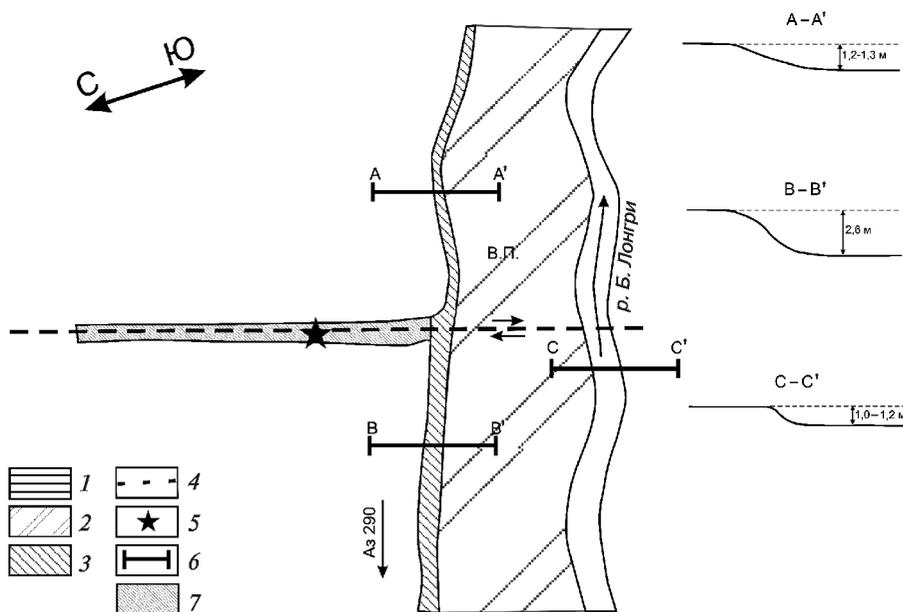


Рис. 2. Схема местоположения траншеи через уступ молодого разрыва (простирание разрыва обозначено горизонтальными толстыми стрелками) в зоне Хейтонского разлома, по [Кожурин, Лободенко, 2009]: 1 — русло р. Лонгри; 2 — высокая пойма; 3 — уступ первой террасы; 4 — Хейтонский разлом; 5 — место тренчинга в 2007 г; 6 — линии профилей через первую террасу; 7 — уступ разлома

Примерно на 1300 м севернее, там, где разрыв, нарушающий левобережную террасу р. Б. Лонгри, снова выходит к руслу, выраженный в рельефе уступ пропадает и вновь появляется примерно на 600 м севернее, уже на правом борту долины, на склоне горы, примерно в 40 м над руслом. Здесь выявлена серия кулисообразных уступов близмеридионального простирания с поднятыми восточными крыльями. Верхний уступ на этом участке продолжается на север, где при пересечении с долинами трех небольших ручьев, расчленяющих склон горы, наблюдаются отчетливые признаки правого сдвига.

Там, где разрыв проходит по склону горы в нескольких десятках метров выше уреза воды, его восточное крыло поднято. Оно образует тектоническую дамбу, перехватывающую материал, сносимый со склона. Вблизи точки с координатами 54° 03' с.ш.,

142° 50' в.д. наблюдается отчетливый правый сдвиг долины ручья на 10–15 м (рис. 4).

Аналогичный сдвиг примерно на 12 м наблюдается на 100 м севернее, где склон прорезан еще одной молодой долиной, и еще одна разорванная и смещенная долина находится на 200 м севернее.

Выявленные смещения на 10–15 м являются кумулятивными, образовавшимися в результате нескольких событий. Нижние террасы ручьев смещены по вертикали меньше, чем на 1 м, а высота уступа за пределами их долин не превышает 2–3 м даже на участках наиболее глубоких бессточных впадин, подпруженных тектонической дамбой, что указывает на преимущественно сдвиговый характер смещений. Подвижки, затрагивающие низкую террасу в долинах ручьев, пересеченных разрывом, вероятно, соответствуют

10–15-метровому сдвигу бортов долин над этой террасой, что позволяет оценить соотношение вертикального и горизонтального смещения на этом участке примерно в 1:10.

Таким образом, по смещениям в рельефе можно уверенно утверждать, что Хейтонский разрыв — очевидный правый сдвиг, смещения по которому происходили неоднократно. На основании полученных радиоуглеродных датировок, можно сказать, что последнее событие произошло около 10 тыс. лет назад.

Данные тренчинга. Для получения полной характеристики активного Хейтонского разлома его детально изучали в искусственной траншее с координатами 54° 01' 54" с.ш., 142° 51' 16" в.д. Выбору места для проходки траншеи предшествовал комплекс геоморфологических маршрутных наблюдений. Место

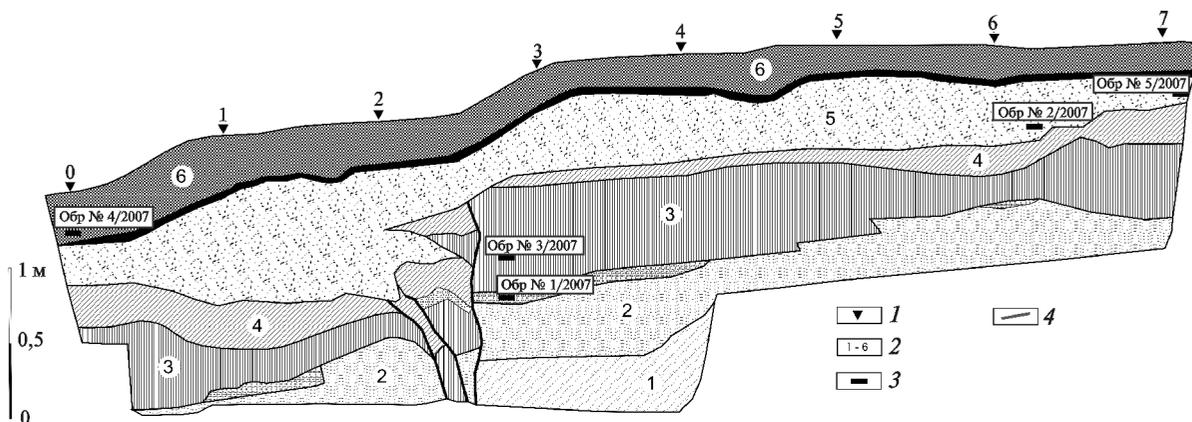


Рис. 3. Разрез траншеи, пройденной в зоне Хейтонского разлома (с упрощениями, по [Кожурин, Лободенко 2009]): 1 — номера пикетов, м; 2 — номера слоев; 3 — места отбора образцов на радиоуглеродные датировки (цифра в прямоугольнике — номер образца); 4 — плоскости разлома

для траншеи должно было удовлетворять следующим критериям: в этой точке отложения после последнего события должны были быть максимально законсервированы, должны отсутствовать эрозионные факторы, приводящие к существенному искажению величины единовременной подвижки, а также должна быть возможность провести корреляцию отложений в крыльях разлома. Молодые речные террасы, нарушенные разломом, лучше всего подходят для проходки в них траншей. В рассматриваемом случае этим условиям отвечала левобережная терраса р. Лонгри, на которой уступ молодого разрыва выражен максимально четко (рис. 2).

Заметим, что при фациальных изменениях и вариации мощностей отложений, нарушенных сдвиговыми подвижками, выполнить ретродеформационный анализ затруднительно. Поэтому необходимо пройти каналы не только поперечные к разлому, но и продольные. В данной ситуации радиоуглеродное датирование образцов становится также способом корреляции отложений [McCalpin, 1996].

Зона разлома находится в центральной части траншеи длиной 7 м, шириной 2,5 м и глубиной до 2,5 м. Здесь выявлены существенные различия в строении северной и южной стенок, что обусловлено накоплением аллювиальных отложений, а также разным строением разрезов поднятого и опущенного крыльев. На рис. 3 показано строение южной стенки траншеи. Приведем ее описание.

Слой 1. Присутствует лишь в самых низах восточной части канавы, представлен оранжево-желтым песком и супесью с мелкой среднеокатанной галькой. Горизонтальная слоистость не наблюдается, но заметно слабое «линзовидное» чередование с более светлоокрашенными суглинками. Угол падения суглинка до 40°. Можно предположить, что это кора выветривания на палеогеновых и меловых породах (по А.И. Кожурину).

Слой 2. Галечник в красновато-рыжевато-буром песчаном заполнителе. Галька средней размерности, часто уплощенная, ориентировка гальки субпараллельна, на этом основании можно предположить движение водотоков в восточном направлении.

Слой 3. В целом хорошо слоистая пачка красновато-желтовато-серого цвета с относительно тонким составом — от тонких песков до мелкого галечника-гравия, чередующихся между собой. Слоистость параллельная. Наблюдается постепенное увеличение мощности по направлению к плоскости разрыва как отдельных слоев, так и горизонта в целом.

Слой 4. Рыхлый несортированный галечник желто-серого цвета. Галька от мелкой (преимущественно) до средней размерности, окатанность средняя и хорошая. Встречаются гальки размером до 5 см.

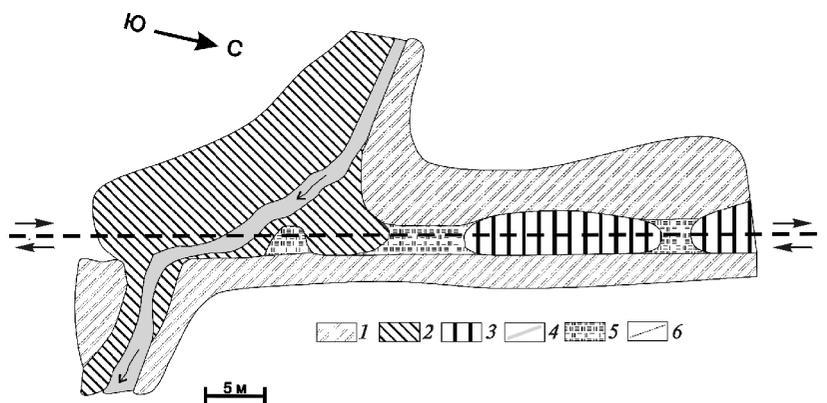


Рис. 4. Правый сдвиг долины ручья по Хейтонскому разрыву. Составлено на основе полевых наблюдений, разрыв на плане отмечен черными горизонтальными стрелками): 1 — поверхность склона; 2 — «терраса» ручья (низкая поверхность); 3 — суффозионные (?) ванны; 4 — русло ручья; 5 — одновысотные перемычки; 6 — Хейтонский разлом

Слой 5. Суглинки и тонкие пески с плохо различной слоистостью и общим желтовато-серым цветом. Отдельные более яркие желтоватые и красноватые пятна связаны с процессами окисления. Местами горизонт неравномерно насыщен мелкой хорошо окатанной галькой (в виде линз), источником которой служит слой 4. Кровля слоя осветлена, очевидно, в процессе современного почвообразования.

Слой 6. Перегнойный почвенный горизонт с обильными корнями деревьев, основная масса имеет черно-бурый цвет, мажется, местами встречаются щебень и галька из нижних горизонтов.

Разломы. Хорошо выделяются две основные разломные плоскости, показанные на рис. 3 жирными линиями. Движения по разлому затрагивают слои 1–5, но не отмечены в слое 6, который представляет собой верхнюю часть современного почвенного профиля. В зоне разлома встречены блоки слоев 2–5, которые могли быть затянуты в полость, образовавшуюся сразу после разломного события почти мгновенно.

Данные радиоуглеродного датирования, приведенные в таблице, свидетельствуют, что основная часть вскрытого разреза (включая слой 5) накопилась в позднем плейстоцене начиная примерно с 40 тыс. лет. Несколько более древний возраст образца К1-2007/2, расположенного выше по разрезу, чем образец К1-2007/3, вполне можно объяснить переомывом и переотложением датированного материала из нижележащих слоев. Очевидно, что возраст верхов горизонта 5 составляет примерно 10–12 тыс. лет (возраст образца К1-2007/5).

Палеосейсмологическая интерпретация. На основе построенного нивелирного профиля через уступ Хейтонского разлома, а также в результате детального тренчинга установлено, что величины вертикальных смещений слоев 2–5, а также земной поверхности (на удалении от плоскости разлома) примерно равны и составляют около 0,8 м (рис. 5). Это в свою очередь служит доказательством того, что практически все слои испытали одно и то же число смещений (подви-

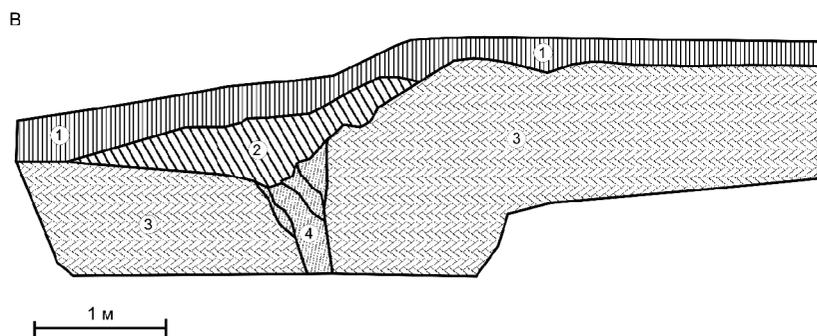


Рис. 5. Схематическая интерпретация разреза, вскрытого в траншее, пройденной через Хейтонский разлом. Цифры в кружках: 1 — отложения, накопившиеся после подвижки; 2 — колювиальный клин, состоящий из отложений различного генезиса; 3 — отложения, накопившиеся до последней подвижки по разлому; 4 — разломная зона

жек, событий). Поверхности всех слоев в крыльях разлома субгоризонтальны. В опущенном крыле рядом с разломным уступом отложения слоя 5 сдвоены, а их поверхность параллельна склону разломного уступа в проекции на земную поверхность. Поверхность галечника слоя 4 под ними также параллельна земной поверхности. Некоторое наблюдаемое несоответствие мощности слоев 2–5 в разных крыльях разлома вблизи разломной плоскости можно объяснить присутствием сдвиговой компоненты смещений, т.е. совмещением при сдвиге участков соответствующих слоев разной мощности. Сдвигание слоя 5 под нижней частью разломного уступа свидетельствует, что первая с начала накопления вскрытого разреза подвижка произошла после накопления этого слоя, а отсутствие между сдвоенными частями слоя 5 образований (или их фрагментов) слоя 6 говорит о том, что смещение произошло до формирования полного разреза современного почвенного профиля.

Данные радиоуглеродного датирования

Номер образца	Лабораторный номер	Возраст, лет	Возраст, калиброванный по доверительному 95%-ному интервалу	Возраст, калиброванный по доверительному 68%-ному интервалу
K1-2007/2	237088	45 120±830		
K1-2007/3	237089	40 170±630		
K1-2007/5	237091	9970±60	11 240–11 710	11 530–11 600 11 430–11 490 11 270–11 420

Таким образом восстанавливается одна подвижка по разлому, которая произошла после накопления отложений слоя 5, возможно, когда современный почвенный профиль только начал формироваться [Кожурин, 2009]. Ее нижний возрастной предел определяется возрастом образца K1-2007/5. Верхний возрастной предел не определен. Поскольку верхняя часть современного почвенного профиля (самый верх слоя б) деформирована (образовалась после появления разломного уступа), то возраст подвижки, видимо, близок к возрасту образца K1-2007/5, т.е. составляет 11,5 тыс. лет. Условно можно принять,

что подвижка имела место 9–10 тыс. л.н. Подчеркну, что это была единственная подвижка примерно в течение последних 40 тыс. лет.

Если говорить об одноактности смещения по разлому, то можно уверенно утверждать лишь вертикальное одноактное смещение — оно составляет ~0,8 м. На всем участке разлома, заключенном в излучине р. Б. Лонгри, отсутствуют какие-либо геоморфологические реперы, которые позволили бы измерять величину сдвига, даже кумулятивную. Несомненно, что сдвиговая компонента на этом участке разлома, по крайней мере, не меньше вертикальной. Полученную при этом

допущении величину общей разовой подвижки — ~1–1,5 м — можно, таким образом, рассматривать как минимальное значение.

Обсуждение результатов. На основании полученных данных Хейтонский разлом является активными сегментом крупного Хоккайдо-Сахалинского регионального разлома. Хейтонский разлом, исследованный в двух траншеях, представляет собой правый сдвиг с некоторой взбросовой компонентой, причем сдвиговая компонента на порядок превышает взбросовую (соотношение 10:1). Различная выраженность сегментов этого разрыва в рельефе может указывать на разницу в литологии смещенных толщ на севере и юге. Этот вопрос остается открытым и требует дальнейшего изучения в связи с тем, что объективных данных об активных разломах о-ва Сахалин недостаточно.

Тренчинг основного шва Хейтонского разлома на п-ове Шмидта показал наличие следов как минимум двух, а скорее всего, трех, эпизодов разрывообразования, в ходе которых было накоплено проводсдвиговое смещение примерно на 15 м, что непосредственно подтверждается величиной смещения форм рельефа. Это позволяет предположить одновременную подвижку от 5 до 7 м, что, с учетом преимущественно сдвиговой кинематики смещений, соответствует землетрясению с магнитудой $M_s \sim 7,5$. Минимально возможная магнитуда землетрясения, при которой смещение могло достигать 5–7 м, составляет 6,8–7,1, по [Wells, 1994]. Период повторяемости событий по радиоуглеродным датировкам составляет около 10 тыс лет.

Учитывая, что на некоторых участках вблизи места основных работ в траншее высота уступа составляла около 1,5 м, величину горизонтальной подвижки можно оценить как минимум в 2–3 м, при этом минимально возможная магнитуда землетрясения M_s составит 6,5 [Кожурин 2009].

Пока неизвестно, соединяется ли Хейтонский разлом с Эхаби-Пильтунским, который расположен южнее, а также насколько далеко он прослеживается на север и юг, в шельфовые области. Этот вопрос

очень важен в связи с нефтегазоносностью шельфа Северного Сахалина.

Выводы. 1. Подтверждены позднечетвертичные (позднеплейстоценовые и голоценовые) смещения по Хейтонскому разлому, который имеет сдвиго-взбросную кинематику.

2. Данные, полученные в ходе тренчинга, свидетельствуют, что молодые тектонические нарушения на п-ове Шмидта формировались в результате резких периодических подвижек с амплитудой до нескольких метров, а эти подвижки сопровождались сильными землетрясениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Булгаков Р.Ф., Иващенко А.И., Ким Ч.У. и др. Активные разломы Сахалина // Геотектоника. 2002. Т. 36. Вып. 3. С. 227–246.

Кожурин А.И. Активная разломная тектоника юга Центральной Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. Вып. 12, № 2. С. 10–27.

Кожурин А.И., Лободенко И.Ю., Стром А.Л. Следы сильных землетрясений на полуострове Шмидта — северной части острова Сахалин в голоценовое время // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2009. № 4. С. 23–29.

Рождественский В.С. Сдвиги северо-восточного Сахалина // Геотектоника. 1975. № 2. С. 21–32.

Рождественский В.С. Сдвиги в Восточном хребте полуострова Шмидта на Сахалине // Докл. АН СССР. 1979. т.240. с. 230–241.

Рождественский В.С. Геологическое строение и тектоническое развитие полуострова Шмидта (о. Сахалин) // Тихоокеанская геология. 1988. №3. С. 62–71.

3. Данные о возрасте подвижек показывают, что повторяемость сильных разрывообразующих землетрясений на одних и тех же сегментах разрывов составляет от 1000 до 10 000 лет, а возможно, и больше.

Автор выражает благодарность своим коллегам: А.Л. Строму (ИДГ РАН), А.И. Кожурину (ГИН РАН), С.П. Никифорову (ОАО «Росстройизыскания»), а также профессору Н.В. Короновскому за критические замечания и обсуждение статьи.

Солоненко В.П. Палеосейсмогеология // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1973. № 9. С. 3–16.

Стром А.Л. Сопоставление параметров современных и палеосейсмотектонических дислокаций // Физика Земли. 1993. № 9. С. 38–42.

Стром А.Л., Никонов А.А. Соотношение между параметрами сейсмогенных разрывов и магнитудой землетрясений // Там же. 1997. № 12. С. 55–67.

Трифонов В.Г. Особенности развития активных разломов // Геотектоника. 1985. № 2. С. 30–43.

Трифонов В.Г. Живые разломы земной коры // Сороковский образовательный журн. 2001. № 7. С. 46–53.

McCalpin J.P. Paleoseismology. San Diego: Academic Press, 1996. 588 p.

Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bull. Seism. Soc. Amer. 1994. Vol. 84. P. 974–1002.

Поступила в редакцию
06.10.2009