

контроля техногенных скоплений газа в водоносных горизонтах Совхозного ПХГ // Опыт эксплуатации подземного хранилища газа при техногенных газопроявлениях: сб. науч.-техн. статей. – М., 2001. – С. 49–63.

2. Темиргалеев Р. Уточнение геологического строения надсолевой толщи Совхозного ПХГ // Опыт эксплуатации подземного хранилища газа при техногенных газопроявлениях: сб. науч.-техн. статей. – М., 2001. – С. 14–25.

УДК 550.8:553.98(571.64)

СЛЕДЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПОЛУОСТРОВЕ ШМИДТА – СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА САХАЛИН В ГОЛОЦЕНОВОЕ ВРЕМЯ

А.И. Кожурин
(ГИН РАН),

И.Ю. Лободенко

(Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова),

А.Л. Стром

(Институт динамики геосфер РАН)

Статья посвящена проблеме сейсмической активности северной части о-ва Сахалин. Описываются активные разломы, изученные в ходе траншейных исследований, обсуждаются их выраженность в рельефе и характер смещения толщ пород. Приводятся убедительные свидетельства того, что молодые тектонические нарушения на п-ове Шмидта формировались в результате резких периодических подвижек с амплитудами до нескольких метров и связаны с сильными землетрясениями. Актуальность работы заключается в том, что на о-ве Сахалин ведутся активные работы по поиску углеводородов, а также строительству нефте- и газопроводов, поэтому изучение сейсмически активных разломов входит в ряд задач, решаемых на всех стадиях реализации нефтегазовых проектов. Работа выполнена в рамках проекта Сахалин-5.

The article is devoted to a problem of seismic activity of northern part of Sakhalin Island. The active faults were trenched and studied in details, its expressiveness in a relief and character of displacement of strata is discussed. Authors provides cogent evidences that young tectonic faults on Schmidt peninsula were formed as a result of sharp periodic motions with amplitudes up to several meters and are connected with strong earthquakes. The urgency of work is that there are works on search of hydrocarbons and pipelines construction on Sakhalin Island, therefore studying of seismically active faults is an important part of all stages of realization of oil and gas projects. Researches were fulfilled within the limits of Sakhalin-5 project.

Ключевые слова: активные разломы; о-в Сахалин; п-ов Шмидта; сейсмическая опасность для нефте- и газопроводов; сейсмический риск; трэнчинг.

Введение

О наличии активных тектонических разрывов на п-ове Шмидта – крайнем севере Сахалина, известно с 70-х гг. прошлого века, когда они были описаны В.С. Рождественским [7]. Однако детальное изучение этих нарушений в специально пройденных траншеях начато только в последние годы, в ходе проведения работ по оценке сейсмических условий северного Сахалина. Работы проводились в 2006–2007 гг. в рамках проекта по освоению нефтегазовых шельфовых месторождений "Сахалин-5", в которых, помимо решения чисто прикладных задач, были получены новые данные о характере голоценовых тектонических деформаций.

К категории "активных разломов" относятся тектонические нарушения, движения по которым происходили в течение позднего плейстоцена–голоцена, что выражается в смещении мелких форм рельефа и/или отложений соответствующего возраста [13, 14].

Активные разломы, отчетливо выраженные в рельефе в виде уступов или горизонтальных сдвигов, рассматриваются как сейсмогенные, т. е. образовавшиеся при резких смещениях пород при сильных землетрясениях, в промежутках между которыми существенных перемещений не происходило. В ряде случа-

ев это однозначно подтверждается характером деформаций отложений в зонах разломов, вскрытых траншеями. Такой "консервативный" подход обеспечивает повышенную надежность переходов трубопроводов через разломы, так как конструкция, способная выдержать единовременную подвижку в несколько метров, будет работоспособной и в случае, если смещения по разлому имеют криповый характер.

Крупные новейшие (четвертичные) разломы обычно выражены в рельефе в виде уступов протяженностью в десятки километров и высотой в десятки метров, отчетливо выделяющихся на цифровой трехсекундной модели рельефа. В ряде случаев в долинах рек и ручьев, пересекающих такие уступы, удается выявить локальные разрывы, смещающие низкие террасы, что говорит о голоценовом возрасте подвижек. Отсутствие признаков наиболее молодых (голоценовых) смещений в зоне регионального разлома на значительном протяжении указывает на то, что разлом на этом участке не проявлял активности в голоцене.

Методика работ

Использовалась стандартная методика палеосейсмологических работ [15], которая включает в себя изучение потенциально сейсмогенных форм рельефа

наземными геоморфологическими и дистанционными методами, а также изучение строения разрывов в траншеях и естественных обнажениях.

При поиске активных разломов на п-ове Шмидта сначала проводилось дешифрирование аэрофото- и космоснимков высокого разрешения, так как многие формы рельефа, которые являются производными от палеосейсмодислокаций, слишком малы (первые метры в высоту), чтобы иметь выражение на имеющихся топокартах среднего и мелкого масштабов. Поэтому аэрофотоснимки и космические изображения высокого разрешения намного более информативны, и позволяют выделять смещения форм рельефа с амплитудами до десятков сантиметров. В последние годы появился метод, основанный на использовании материалов лазерного сканирования (LIDAR), которые с помощью соответствующего программного обеспечения позволяют получать ЦМР (цифровые модели рельефа) высокого разрешения. Во время работ использовались аэроснимки, спутниковые изображения Lanyard и LANDSAT. На их основе были выделены разломы, а далее в результате рекогносцировочных работ были намечены точки для изучения в траншеях или на местности с помощью профилей.

После этого было проведено прослеживание доступных разрывов на местности, что позволило определить высоту уступов, в первом приближении соответствующую кумулятивной вертикальной подвижке и суммарное горизонтальное смещение в местах пересечения разрывом речных долин. Для оценки величины кумулятивной подвижки было использовано нивелирование с использованием ручного нивелира. Измерения угла склона и высоты уступа проводились перпендикулярно направлению простираения эскарпа [10].

На основании анализа геоморфологических данных выбирались места проходки канав, в которых проводилось изучение выраженности разрывов в разрезе. В ходе документации траншей отбирались образцы для определения возраста отложений радиоуглеродным методом.

Региональные разрывы

Вдоль всего Сахалина в меридиональном направлении протягиваются три крупных региональных разлома: Западно-Сахалинский, Центрально-Сахалинский (Тынь-Поронайский) и Хоккайдо-Сахалинский (в ряде работ этот разлом назван Северо-Сахалинским [3]). Помимо них, крупные разломы выделены по геофизическим и буровым данным в акваториях Охотского (Восточно-Сахалинский разлом) и Японского (Монеронский разлом) морей, однако эти нарушения недоступны для прямого геолого-геоморфологического изучения [1]. Наши работы были сосредоточены в зоне Хейтонского разлома, представляющего собой северный фрагмент зоны Хоккайдо-Сахалинского разлома. На п-ове Шмидта выделяется также Лонгрийский активный разлом, а южнее в зоне регионально-

го Хоккайдо-Сахалинского разлома выделяются Охинский, Восточно-Эхабинский, Пильтунский и Горомайский активные разломы (рис. 1) [2].

К югу от устья р. Хандузы, где Горомайский разлом уходит в акваторию залива Чайво, Хоккайдо-Сахалинский разлом трассируется вдоль восточного побережья острова до Восточно-Сахалинских гор, где серия параллельных меридиональных разломов разделяет зоны с различным типом разреза мезозойских и меловых отложений. К ним же приурочены грабенообразные синклинали, выполненные палеоген-неогеновыми толщами, а также интрузивные образования. В зоне разлома установлены тектонические брекчи толщиной до нескольких десятков метров, а палеоген-неогеновые отложения интенсивно дислоцированы и иногда запрокинуты к востоку. В рельефе разлом выражен четким уступом, а далее к югу скрывается под водами залива Терпения, где прослеживается по геофизическим данным, и на юге снова выходит на сушу, прослеживаясь вдоль западного подножья Тонино-Анивского хребта, где по нему приведены в соприкосновение мезозойские (новиковская свита MZnv) и неогеновые (муруямская свита N₁₋₂mg) комплексы.

По мнению большинства исследователей, тектонические нарушения, образующие зону Хоккайдо-Сахалинского разлома, характеризуются значительной сдвиговой составляющей, однако о направлении сдвиговых перемещений существуют различные точки зрения. Так, в многочисленных работах В.С. Рождественского обосновывается правосдвиговая природа

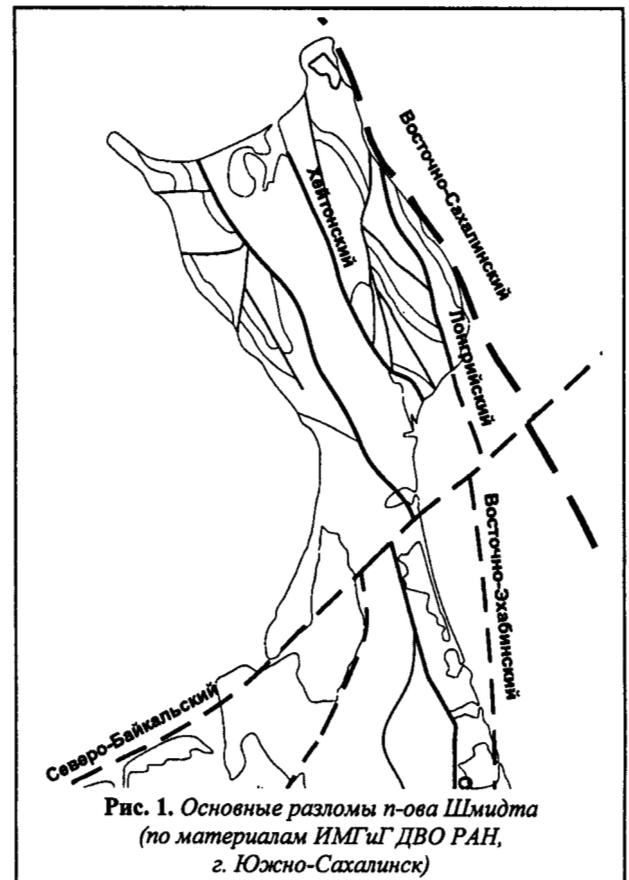


Рис. 1. Основные разломы п-ова Шмидта (по материалам ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск)

всего Хоккайдо-Сахалинского разлома [7–9]. Ю.Н. Гололобов, напротив, предполагал, что некоторые разрывы в этой зоне развивались как правые, а другие – как левые сдвиги [4, 5]. При этом обе точки зрения базируются в значительной мере на анализе структурного рисунка острова. Однако, как показали детальные палеосейсмологические исследования, вдоль активных нарушений в зоне этого разлома установлены только правосдвиговые перемещения, что согласуется с точкой зрения В.С. Рождественского.

Одной из особенностей строения Хоккайдо-Сахалинского разлома в целом является непостоянство направления вертикальных перемещений по разрыву. На разных участках наблюдаются разрывы с поднятыми как западными, так и восточными крыльями. В частности, восточные крылья подняты у Пильтунского и Лонгрийского разломов, а западные – у Восточно-Эхабинского и Горомайского. Такая изменчивость весьма характерна для крупных сдвигов.

Активные разломы полуострова Шмидта.

На п-ове Шмидта были исследованы два разлома: Хейтонский и Лонгрийский, которые субпараллельны в южной части полуострова, но сходятся к северу. Отметим, что Хейтонский разлом, как молодое тектоническое нарушение, не доходит до южного берега, но он, тем не менее, выражен в микрорельефе более ярко, чем Лонгрийский. Последний был лишь обследован в результате полевых рекогносцировочных работ, более детальные работы в его зоне не проводились. В данной статье основное внимание сосредоточено вокруг Хейтонского разлома, поскольку в зоне этого разлома был проведен полный комплекс палеосейсмологических работ.

Хейтонский разлом и оперяющие его нарушения.

Молодой разрыв в зоне Хейтонского разлома прослежен в поле на протяжении примерно 4 км. Морфологически выраженный уступ продолжается и севернее у перевала из долины р. Б. Лонгри в верховья долины р. Три Брата и далее на север. В ходе рекогносцировочного обследования установлено, что в нижнем ярусе рельефа, на левобережной террасе р. Б. Лонгри и далее на юг, где 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 (рис. 2). В пойме высотой до 1 м над урезом реки видимых признаков разрыва не обнаружено.

Достоверных признаков сдвиговых смещений по разрыву на этом участке не обнаружено, 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 скло-

ну, что может быть обусловлено сдвигом пологой положительной формы рельефа (см. профили на рис. 2). Через уступ, показанный на рис. 2, была пройдена траншея.

Примерно в 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 в 600 м севернее уже на правом борту долины, на склоне горы, примерно в 40 м над руслом. Здесь проходит серия кулисообразных уступов близмеридионального простирания с поднятыми восточными крыльями. Верхний из уступов на этом участке продолжается на север, где при пересечении с долинами как минимум трех небольших ручьев, расчленяющих склон горы, наблюдаются отчетливые признаки правого сдвига.

На всем участке, где разрыв проходит по склону горы в нескольких десятках метров выше уреза воды, поднято его восточное крыло, которое образует тектоническую дамбу, перехватывающую материал, сносимый со склона. Вблизи точки с координатами 54° 03' 31.18" N, 142° 50' 30.73" E наблюдается отчетливый правый сдвиг долины ручья на 10...15 м (рис. 3).

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

Выявленные смещения на 10...15 м являются кумулятивными, накопившимися в результате нескольких событий. Нижние террасы ручьев смещены по вертикали менее чем на 1 м, а высота обратного 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 по исследуемому разрыву. Подвижки, затра-

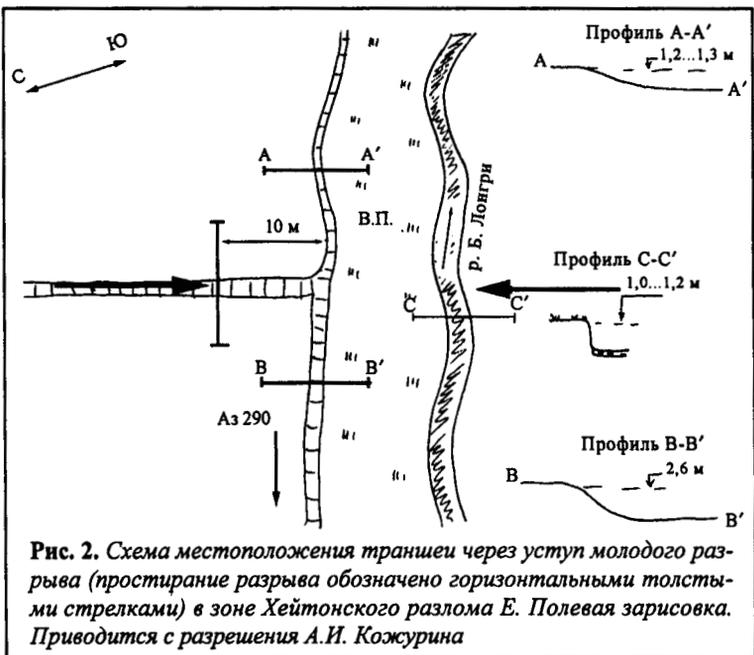


Рис. 2. Схема местоположения траншеи через уступ молодого разрыва (простирание разрыва обозначено горизонтальными толстыми стрелками) в зоне Хейтонского разлома Е. Полевая зарисовка. Приводится с разрешения А.И. Кожурина

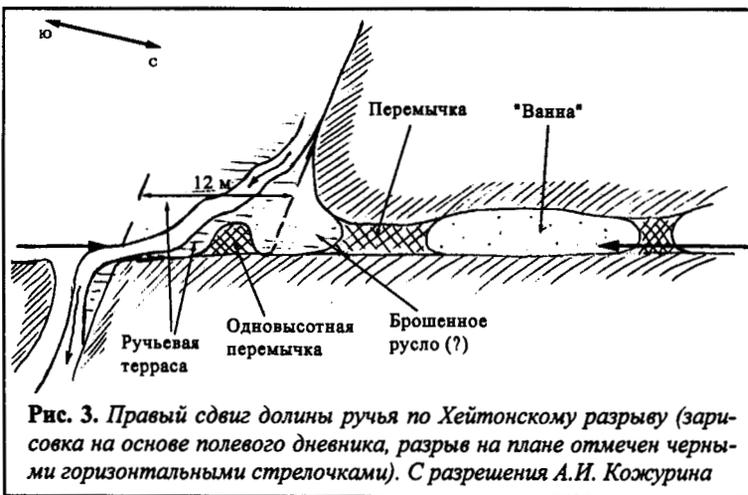


Рис. 3. Правый сдвиг долины ручья по Хейтонскому разрыву (зарисовка на основе полевого дневника, разрыв на плане отмечен черными горизонтальными стрелочками). С разрешения А.И. Кожурина

гивающие низкую террасу в долинах, пересекаемых разрывом ручьев, вероятно, соответствуют 10...15-метровому сдвигу бортов долин над этой террасой, это позволяет оценить соотношение вертикальной и горизонтальной компонент подвижек на этом участке как примерно 1:10.

Кроме того, в южной части участка работ были обследованы выделенные на аэроснимках системы невысоких уступов северо-западного простирания, вероятно, приуроченные к молодым разрывам, оперяющим Хейтонский активный разлом. Одна из этих зон, протяженностью 2,0...2,3 км, в западном крыле разлома пересекает верховья ручья Б. Троптун, вторая – протяженностью около 3,5...4,0 км – проходит в восточном крыле разлома вдоль северо-восточного подножья гряды с вершиной горы Перевальная, ограничивающей бассейн ручья Медовый. Оба разрыва короткие (не более 4 км), имеют явно подчиненное значение и дальнейшее их более детальное изучение нецелесообразно.

Исследования в траншее

Особенностями пройденной траншеи являются существенные различия в строении северной и южной стенок канавы, обусловленные особенностями накопления аллювиальных отложений, а также различия в строении разрезов поднятого и опущенного крыльев, не позволяющие провести их прямое сопоставление. В данной статье приводится описание южной стенки канавы (рис. 4).

Поднятое (западное) крыло

В основании разреза залегают пески желтые разнотерные, перемежающиеся с белесыми суглинками. Аналогичные породы были вскрыты шурфом в основании аллювиальных отложений в борту террасы р. Б. Лонгри на глубине примерно 2 м от уровня кромки террасы. В западном, а также в северном направлениях уровень кровли этих отложений в канаве 1 повышается. В торцевой стенке уступа в дне канавы на ПК ~4,7 м видно, что среди песка есть включения щебня. Есть вероятность, что эта толща – кора

выветривания развитых здесь коренных пород, так как в чередовании песков и суглинков просматриваются элементы крутопадающей слоистости.

Обращает на себя внимание крайне неровная кровля рассматриваемой пачки, особенно в торце и в северной стенке канавы, где ее видимая толщина возрастает, а кровля располагается существенно выше, чем в южной стенке. Отдельные гальки из вышележащей пачки как бы тонут в песке. Наблюдаются также внедрения песка в вышележащую толщу галечников. Трудно представить, чтобы такая поверхность песчаной пачки могла сохраниться в русле, в потоке, переносившем довольно крупные гальки. Поэтому можно предположить, что это результат разжижения, проявившегося в описываемых песках при сейсмических воздействиях.

Выше залегают галечники с песчаным красно-бурым заполнителем, которые в западной части южной стенки перекрываются галечниками в глинистом заполнителе, а восточнее, ближе к сместителю разрыва – примерно 10-сантиметровым слоем белой глины. Толщина этих галечников существенно больше в северной стенке траншеи. Галечниковые отложения перекрываются, а частично фациально замещаются пачкой тонкослоистых чередующихся песков и суглинков, которые, судя по соотношению их толщин в северной и южной стенках канавы, заполняли ложбину в галечниках, вытянутую с запада на восток – поперек будущего уступа, причем толщина этих отложений в южной стенке возрастает в восточном направлении от 20 до 55...60 см. Хотя толщина этой же пачки в северной стенке не превышает 15...20 см, положение кровли этих отложений в обеих стенках канавы одинаковое, т. е. ложбина была полностью заполнена песчано-глинистыми отложениями.

Выше опять залегают галечники, подстилаемые линзой гравия. Эта пачка по очень неровной границе перекрывается супесчано-суглинистыми отложениями, выше которых залегает подзолистый горизонт современного почвенного профиля, местами лежащий непосредственно на галечниках. Толщина современного почвенного профиля порядка 20 см.

Опущенное (восточное) крыло

Опущенное крыло вскрыто на протяжении 2,5 м. В интервале примерно 2,3...2,7 м находится зона разлома.

Разрез опущенного крыла не соответствует разрезу поднятого, что не позволит провести их прямого сопоставления и, скорее всего, связано со значительной сдвиговой компонентой в сочетании с изменчивостью разреза вдоль приразломного уступа, наблюдаемой как в поднятом, так и в опущенном крыльях разрыва. В основании разреза опущенного крыла залегают галечники в глинистом заполнителе,

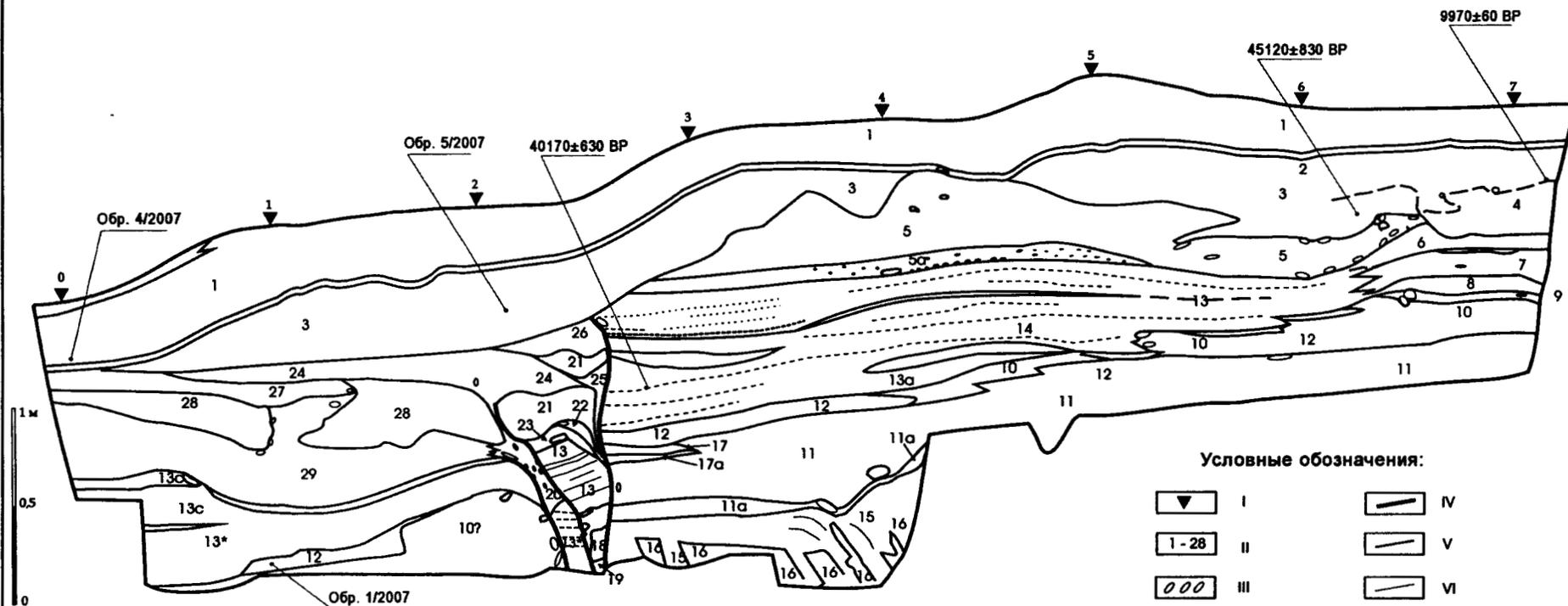


Рис. 4. Разрез траншеи, пройденной в зоне Хейтонского разлома:

I – номера пикетов (метры); *II* – номера слоев: 1 – гумус с корнями деревьев и травы, 2 – светло-серый суглинок (подзолистый горизонт), 3 – суглинок гумусированный с мелкими гальками, 4 – супесь светло-бурая, 5 – галечник среднеокатанный с супесчаным цементом, 5а – гравий с песчаным заполнителем, 6 – суглинок мягкий желтовато-бурый, пятнистый, 7 – песок мелкозернистый желтовато-бурый, 8 – галечник в песчаном заполнителе, 9 – песок серый, мелкозернистый, 10 – галечник в глинистом заполнителе белесо-светло-серый и желтоватый, 11 – галечник в красно-буром песчаном заполнителе (плоские гальки субгоризонтальны), 11а – светло-бурый горизонт в основании слоя 11, 12 – глина белая, 13 – разнозернистый серо-желто-бурый песок (переходит в слой 7), 13а – песок красно-бурый, 13б – песок крупно-зернистый, 13с – песок мелкозернистый, 13* – песок, залегающий в зоне сместителя, аналогичный слою 13, но более глинистый, 14 – галька в песчаном заполнителе, 15 – смесь песка, супеси и мелкого гравия, охристая, 16 – суглинок светло-серый, 17 – линза серого песка, 17а – линза коричневого песка, 18 – глина плотная светло-серая (аналог слоя 12), 19 – песок среднезернистый, 20 – галька мелкая в супесчаном заполнителе (ориентирована по падению сместителя), 21 – супесь легкая, 22 – песок бурый, 23 – супесь с включениями гальки, 24 – супесь темно-бурая с гравием, 25 – супесь с галькой светло-серо-бурая, 26 – песок с гравием и галькой, темно-коричневый, 27 – суглинок серый, пластичный, 28 – суглинок легкий, бурый, 29 – галечник среднеокатанный с супесчаным цементом (аналог слоя 5); *III* – отдельные гальки; *IV* – плоскости разлома; *V* – границы слоев; *VI* – слоистость. На выносных линиях – точки отбора образцов и их абсолютные возрасты

схожие с пачкой 10 (см. рис. 4), обнажающейся в южной стенке канавы, в ее западной части и фациально замещающейся песчано-глинистой тонкослойной пачкой. Выше залегает слой глины, схожий со слоем 12 из поднятого крыла. Причем этот слой начинается не непосредственно от сместителя, а восточнее. Этот слой смещен по вертикали на 40...50 см вниз относительно его положения в поднятом крыле, что меньше высоты уступа на этом участке. Выше залегает пачка чередующихся песчано-суглинистых отложений, напоминающих пачку 13 поднятого крыла.

Зона разлома

Непосредственно в зоне разлома между западным и восточным сместителями выделяется блок, разрез которого в значительной степени соответствует разрезу поднятого крыла разрыва (в основании находится кусок белой глины, выше – чередование слоев песка и суглинка). Отличие в том, что в этом блоке есть отдельные крупные плоские гальки, которых не видно в поднятом крыле, но их следы есть и там.

Судя по этим соотношениям, рассматриваемый блок сместился относительно поднятого крыла практически по вертикали вниз на 0,5 м, хотя слабоволнистая поверхность разделяющего их сместителя характерна, скорее, для сдвигов. Так как блок имеет хорошо выраженную слоистость, очевидно, что перед подвижкой, после которой он занял современное положение, его восточный край не размывался, т. е. на этом уровне породы были ниже основания уступа, если таковой уже присутствовал.

Иначе обстоит дело с переходом от этого блока к опущенному крылу разлома. Возможный аналог тонкослойной пачки имеет здесь толщину, намного меньшую, чем и в поднятом крыле и во внутриразломном блоке. Прямое сопоставление крыльев здесь невозможно, как невозможно оно и в северной стенке канавы. Объяснить это можно, допуская значительную сдвиговую компоненту смещений, причем, скорее всего, правосдвиговую, так как толщина тонкослойных отложений в поднятом крыле уменьшается к северу и, соответственно, именно оттуда могли быть

перемещены отложения, вскрытые в южной стенке канавы.

В противоположной – северной стенке траншеи "зона разлома" между плоскостями сместителей сложена хаотически ориентированным галечником с песчаным заполнителем, существенно более рыхлого сложения, чем галечники, залегающие и в поднятом и в опущенном крыльях. Она перекрыта пачкой супеси (легкого суглинка) отчетливо двучленного строения – желтоватой снизу и серой сверху. Нижняя часть частично перемешана с галькой. Галечниковый "навал" как бы выдавлен из сужающейся книзу зоны и внедрен между пачкой суглинков опущенного крыла и перекрывающей супесью.

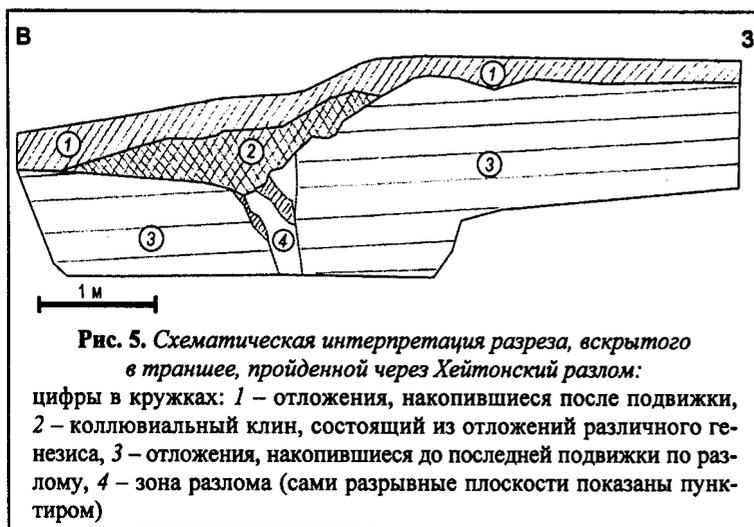
На рис. 5 показана схематическая интерпретация описанного разреза отложений южной стенки траншеи. За основу интерпретации взята модель коллювиального клина (слой 2). Данный слой, состоящий из отложений разного генезиса и залегающий на поверхности "доразломных" отложений (слой 3), мог накопиться после последней подвижки по разлому, нашедшей свое отражение в слое 4. Радиоуглеродный возраст доразломного слоя – около 40...45 тыс. лет до н.э., а слоя, перекрывающего коллювиальный клин (т. е. верхняя граница последнего события), – около 10 тыс. лет до н.э.

Результаты и их обсуждение

Разломы п-ова Шмидта, Пильтунский и Горомайский разломы являются активными сегментами Хоккайдо-Сахалинского регионального разлома. При этом единовременное вспарывание во время землетрясений охватывало отдельные фрагменты указанных региональных разрывов, протяженностью, по видимому, до нескольких десятков километров, что следует из морфологического подобия следов молодых подвижек. Для оценки длины активизирующего сегмента была применена эмпирическая зависимость между длиной разрыва и амплитудой смещения, полученная Д. Вэлсом и К. Копперсмитом [16], но на Сахалине сталкиваемся с тем фактом, что величина

единовременной подвижки по активным разломам существенно отличается в большую сторону от среднемировой зависимости. В то же время надо отметить, что для Сахалина известно только два крупных землетрясения – Нефтегорское (1995 г.) и Углегорское (2000 г.), при которых задокументировано поверхностное разрывообразование, т. е. формально для подтверждения этого факта необходим большой набор статистических данных [6].

Хейтонский разлом, исследованный в двух траншеях, является правым сдвигом с некоторой взбросовой компонентой. Различная выраженность изученных сегментов этого разрыва в рельефе может указывать на разницу в литологии смещен-



ных толщ на севере и юге. Этот вопрос остается открытым и требует дальнейшего изучения в связи с тем, что объективных данных по активным разломам о-ва Сахалин недостаточно [11, 12].

Тренчинг основного шва Хейтонского разлома на п-ове Шмидта показал наличие там следов как минимум двух, а скорее всего, трех эпизодов разрывообразования, в ходе которых было накоплено праводвиговое смещение примерно на 15 м. Данная величина непосредственно подтверждается величиной смещения геоморфологических форм рельефа. Это позволяет предполагать, что единовременная подвижка могла составлять 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.

Вертикальная компонента смещения, судя по существенному различию в разрезах поднятого и опущенного крыльев, уступала горизонтальной. Учитывая, что на некоторых участках вблизи места основных работ в траншее высота уступа составляла около 1,5 м, величину горизонтальной подвижки можно оценить минимум в 2...3 м, при этом минимально возможная магнитуда землетрясения M_s составит 6,5.

Выводы

1. Позднечетвертичные (позднеплейстоценовые и голоценовые) смещения характерны для активных частей Хоккайдо-Сахалинского разлома – Хейтонского и Лонгрийского разломов.

2. Данные, полученные в ходе траншейных исследований, свидетельствуют о том, что молодые тектонические нарушения на п-ове Шмидта формировались в результате резких периодических подвижек с амплитудами до нескольких метров и связаны с сильными землетрясениями.

3. Имеющиеся данные о возрасте подвижек показывают, что повторяемость сильных разрывообразующих землетрясений на одних и тех же сегментах разрывов составляет от 1 до 10 тыс. лет, а возможно, и более.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Активные разломы Сахалина* / Р.Ф. Булгаков, А.И. Иващенко, Ч.У. Ким и др. // *Геотектоника*. – 2002. – № 36. – С. 227–246.
2. Богданов Е.Д., Василенко И.Ф., Сапрыгин С.Н. *Современные движения земной коры в районе р. Пильтун (Северный Сахалин)* // *Тихоокеанская геология*. – 1988. – № 3. – С. 72–76.
3. *Геология СССР*. – М.: Недра, 1970. – Т. XXXIII: *Остров Сахалин (геологическое описание)*.
4. Гололобов Ю.Н., Харасинов В.В. *Проявление горизонтальных движений на севере Сахалина: сб. тр. / ВНИИГАЗ*. – 1973. – Вып. 46. – С. 67–74.
5. Гололобов Ю.Н. *Роль сдвигов в формировании структуры Северного Сахалина* // *Изв. вузов: Геология и Разведка*. – 1981. – № 11. – С. 29–35.
6. Кучай В.К., Полунин Г.В. *Предельная интенсивность землетрясений Сахалина по палеосейсмологическим данным* // *Тихоокеанская геология*. – 1986. – № 3. – С. 112–114.
7. Рождественский В.С. *Сдвиги северо-восточного Сахалина* // *Геотектоника*. – 1975. – № 2. – С. 21–32.
8. Рождественский В.С. *Сдвиги в Восточном хребте полуострова Шмидта на Сахалине* // *Докл. АН СССР*. – 1979. – Т. 240. – С. 230–241.
9. Рождественский В.С. *Геологическое строение и тектоническое развитие полуострова Шмидта (о-в Сахалин)* // *Тихоокеанская геология*. – 1988. – № 3. – С. 62–71.
10. Солоненко В.П. *Палеосейсмогеология* // *Изв. АН СССР: Физика Земли*. – 1973. – № 9. – С. 3–16.
11. Стром А.Л. *Сопоставление параметров современных и палеосейсмотектонических дислокаций* // *Физика Земли*. – 1993. – № 9. – С. 38–42.
12. Стром А.Л., Никонов А.А. *Соотношение между параметрами сейсмогенных разрывов и магнитудой землетрясений* // *Физика Земли*. – 1997. – № 12. – С. 55–67.
13. Трифонов В.Г. *Особенности развития активных разломов* // *Геотектоника*. – 1985. – № 2. – С. 30–43.
14. Трифонов В.Г. *Живые разломы земной коры* // *Соросовский образовательный журнал*. – 2001. – № 7. – С. 46–53.
15. McCalpin, J.P. (Ed), *Paleoseismology* // *Academic Press*. – 1996. – San Diego. – 588 pp.
16. Wells D.L., Coppersmith K.J. *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement* // *Bull. Seism. Soc. Am.* – 1994. – 84. – P. 974–1002.