

ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМОГЕННЫХ СБРОСОВ КИЧЕРСКОЙ СТРУКТУРЫ СЕВЕРНОГО ПРИБАЙКАЛЯ В РАЗРЕЗАХ КАНАВ (ТРЕНЧИНГ)

О.П. Смекалин, В.С. Имаев, А.В. Чипизубов

Институт земной коры СО РАН

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

E-mail: smekalin@crust.irk.ru

Поступила в редакцию 17 июля 2007 г.

Сейсмогеологические исследования в Северном Прибайкалье направлены на уточнение сейсмических условий территории. Новые данные о палеосейсмогенных дислокациях получены благодаря применению современных методов, среди которых основными стали тренчинг и анализ трехмерных моделей рельефа высокой разрешающей способности. В результате проведенных работ детализированы линейные и морфологические параметры дислокаций, по характеру строения деформаций в разрезах канав впервые установлены амплитуды смещений последних палеособытий. Особое внимание, как и при любых подобных исследованиях, было уделено выявлению взаимосвязи между формированием деформаций и развитием современного рельефа.

Ключевые слова: *тренчинг, морфометрия, сейсмогенный сброс, палеоземлетрясение.*

THE STUDYING OF SEISMOGENIC NORMAL FAULTS OF KICHERA STRUCTURE (NORTHERN BAYKAL REGION) IN THE TRENCH PROFILES

O.P. Smekalin, V.S. Imaev, A.V. Chipizubov

Institute of the Earth Crust, Siberian Branch of RAS

The seismogeological investigations in Northern Baykal Region is directed on adjustment of region seismic conditions. The new data about paleoseismodislocations was received by the recent methods: the analysis of 3D models of relief with high resolutions and the trenching of places. As a result of this studying were identified the dislocation sizes and morphological parameters and determined the amplitudes of last paleoevents. The special attention were given to the connections between the recent relief and the deformations.

Key words: *trenching, morphometrie, seismogenic normal fault, paleoevent.*

Введение

В 2005 году были начаты комплексные изыскания по строительству трубопровода Восточная Сибирь–Тихий океан (ВСТО). Согласно проекту одного из первых вариантов, трасса трубопровода должна была пройти вдоль железнодорожной ветви Байкало–Амурской магистрали. По этому варианту, на своем пути трубопровод более 20 раз пересекает зоны рифтогенных и других активизированных в позднем кайнозое разломов, в том числе и тех, что несут следы сейсмогенного вспарывания. Для наиболее проблемных участков были проведены исследования с применением современных сейсмогеологических методов. Одним из таких

участков является часть трассы, проходящая вдоль основания северо-западного обрамления Ангара-Кичерской депрессии. Здесь трубопровод, в случае его строительства, был бы зажат с одной стороны береговой линией Байкала и руслом впадающей в него Кичеры, с другой – сейсмогенными сбросовыми уступами Кичерского разлома.

Сейсмогенные деформации Кичерской структуры впервые были открыты А.В. Чипизубовым летом 1976 года во время проведения сейсмогеологических работ в зоне промышленного освоения тогда ещё строящейся трассы БАМ. Тогда же сеймотектоническая природа была установлена для всего комплекса протягивающихся вдоль трассы Кичерского разлома

сбросовых уступов высотой от нескольких метров до 50-60 метров по их расположению на различных гипсометрических уровнях (от 500 до 700 м), зигзагообразному и кулисообразному характеру уступов в плане, пересечению ими молодых и современных форм рельефа [Хромовских и др., 1978]. Наряду с правильным выводом о том, что большая амплитуда сброса (десятки метров) является результатом нескольких подвижек по разлому, утверждается, что «в долинах рек Неручанда и Умоликит (амплитуда сброса не превышает 6-10 м) уверенно устанавливаются одноактные подвижки одного возраста». Последнее утверждение можно считать недостаточно обоснованным, так как оно было принято без учета внутреннего строения деформаций лишь по морфологическим признакам. Такие разовые амплитуды являются предельными для современных дислокаций с преимущественно вертикальным смещением и протяженностью разрыва от 20 до 80 км [Стром, 1993; Wells, Copersmith, 1994]. Когда появились первые описания Кичерской структуры (1978 г.), изучение сейсмодетектирования в разрезах канав только начинало развиваться как самостоятельный метод – «trenching» [Convers et al., 1968; Clark et al., 1972; Bonilla, 1973; Sieh, 1978, и др.]. В Советском Союзе первые тренчинговые работы были проведены по инициативе В.С. Хромовских в Южном Прибайкалье в конце 80-х годов прошлого столетия. Сегодня результаты исследования сейсмодислокаций не могут считаться кондиционными, если при этом в должной мере не были использованы такие методы, как тренчинг, малоуглубинная геофизика, радиоуглеродное датирование, которые повышают точность определения амплитуд и протяженности дислокаций, их возраста и повторяемости.

В последние десятилетия в мире накоплен большой опыт применения традиционных геологических и геофизических методов, а также специально разработанных методов для исследования современных и палеосейсмодислокаций. И хотя Кичерские дислокации были исследованы ранее, а по отдельным фрагментам составлены подробные схемы [Хромовских и др., 1978], необходимость дополнительных исследований очевидна. В полевой сезон 2005 года на отдельных участках структуры (северная окраина пос. Нижнеангарск, конусы выноса рек Холодная, Неручанда, Умоликит и некоторых водораздельных мысов) были выполнены малоуглубинные геофизические работы сей-

смическими и электрическими методами, маршрутные исследования, тренчинг, обработка трехмерных моделей рельефа, полученных путем лазерного сканирования.

В данной работе представлены материалы тренчинга, выполненные на центральном участке структуры, и один из основных результатов его применения – выделение в суммарной амплитуде, морфологически выраженной в высоте уступа, составляющих ее амплитуд разовых смещений, что свидетельствует о формировании дислокаций в конусах выноса многократно в течение голоцена и конца позднего плейстоцена.

Краткая геолого-структурная характеристика

Дислокации Кичерской структуры приурочены к зоне одноименного разлома, формирующего северо-западный борт Ангаро-Кичерской депрессии – наиболее загруженной осадками северной оконечности Байкальской впадины. По размаху деформации мел-палеогеновой поверхности, т.е. разнице абсолютных отметок между фундаментом впадины и вершинами горного обрамления, рассматриваемый участок относится к наиболее активным позднекайнозойским структурам Байкальской рифтовой зоны.

Кичерский разлом является структуроформирующим для контакта крупных тектонических элементов (рис. 1). В результате разнонаправленных движений, преимущественно в позднем кайнозое, эти элементы оформились в виде структур с резко различающимися величинами деформации мел-палеогеновой поверхности выравнивания. Юго-восточное опущенное крыло Кичерского разлома представляет собой днище Северобайкальской впадины, кристаллический фундамент которой между устьями Кичеры и Верхней Ангары опущен до абсолютных отметок – 4000 м [Зорин, 1971].

Поднятое крыло разлома по линии устья Кичеры – среднее течение р. Тья делится на две разновысотные тектонические структуры. К северо-востоку от этой линии расположено Сыннырское сводово-блоковое поднятие с вершинной поверхностью, достигающей отметок 2200 м. Юго-западнее лежит Котельниковско-Сыннырская промежуточная ступень, максимальные высотные отметки в осевой части которой не превышают 1400-1600 м. Таким образом, размах относительной вертикальной деформации за неотектонический этап достигает 6 км.

ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМОГЕННЫХ СБРОСОВ КИЧЕРСКОЙ СТРУКТУРЫ

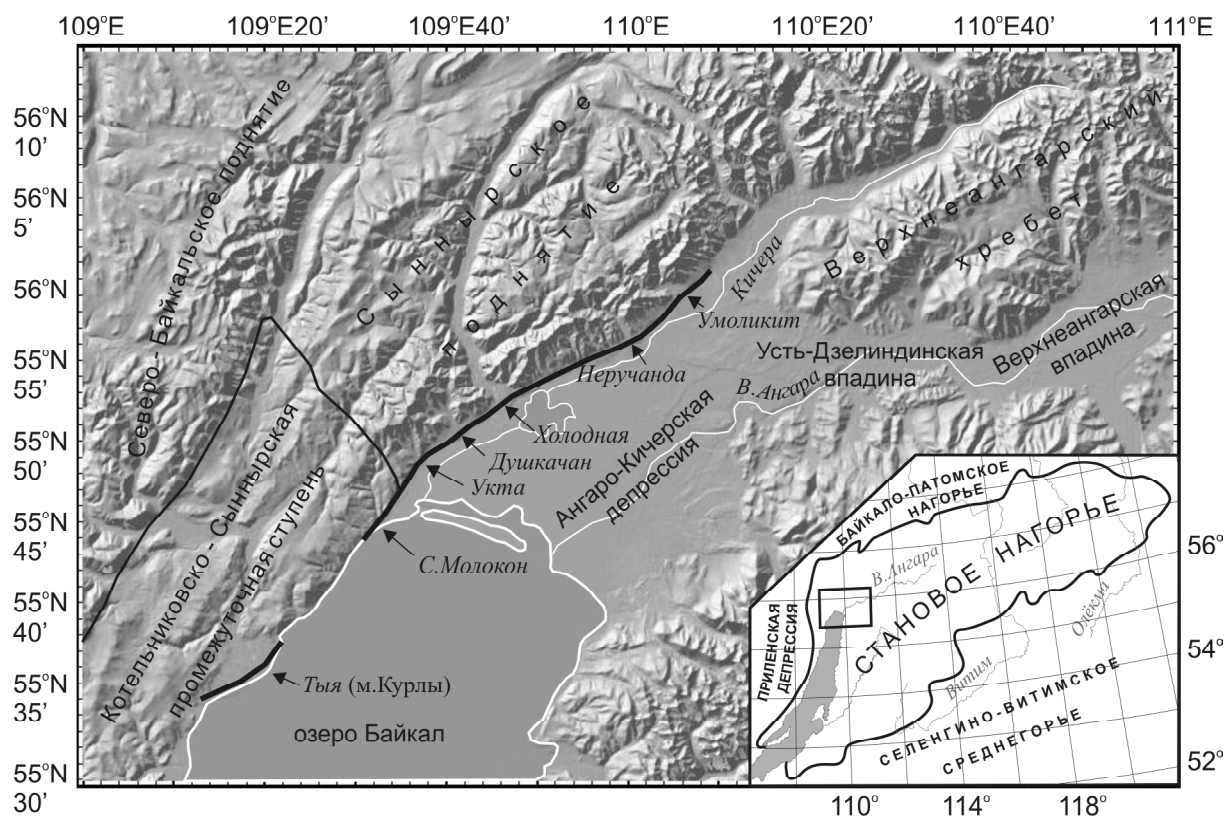


Рис. 1. Основные структурно-тектонические элементы Северного Прибайкалья и устьевые участки речных долин, врезанных во фронтальный уступ Кичерского сброса.

На врезке границы Станового нагорья и соседние морфоструктурные области II порядка показаны по материалам А.С. Ендрихинского [1981]. Черной жирной линией показаны участки сейсмогенного вскрытия вдоль зоны Кичерского разлома.

При этом, по мнению А.М. Мазукабзова и др. [1978], максимальная амплитуда смещения по Кичерскому разлому едва превышает 1 км. Возможно, эти авторы считали, что большая часть амплитуды относительного вертикального перемещения блоков обязана изгибовым деформациям, на значительную роль которых в процессе формирования бортов рифтовых впадин в своих работах указывал А.Н. Флоренсов [1960].

Кичерский разлом, как и другие крупные элементы тектонического строения Северного Прибайкалья, простирается согласно с древней структурой. Он наследует одну из ветвей Байкало-Конкудерского разлома, вдоль которого в среднем и нижнем протерозое проявился интенсивный основной и ультраосновной магматизм. Пространственная связь Кичерского разрыва с древним глубинным разломом свидетельствует о том, что он разграничивает блоки, захватывающие всю литосферу [Мазукабзов и др., 1978].

Кайнозойские отложения в рассматриваемом районе слагают днище Ангара-Кичерской депрессии, поймы и террасовые комплексы

Верхней Ангары, Кичеры и их притоков. Особое место в четвертичной структуре впадины занимает реликт урвненной поверхности, сохранившейся в виде полосы сейсмотектонической ступени, вычлененной из субстрата впадины уступом Кичерского сброса. Определяя возраст этой аккумулятивно-денудационной поверхности как позднеплейстоценовый, мы исходим из масштабов ее деформации и возможных скоростей тектонических сбросов, а также из того, что сегодня нет достаточно аргументированных данных о времени планации и начале расчленения этой поверхности. В литературе она датируется широким диапазоном времени – от ранне-среднеплейстоценового, по мнению Д.Б. Базарова и Р.Ц. Будаева [Геоморфология..., 1981], которые сопоставляют ее с VI (50-60-метровой) террасой долины Верхней Ангары и Верхне-Ангарской впадины, до конца позднего плейстоцена, по данным К.Г. Леви, и А.А. Кульчицкого [1981], а также А.Г. Трофимова [1988, 1994], считающих определяющим этапом формирования данной структуры ран-

неголоценовую тектоническую активизацию. А.А. Яценко [1956] рассматривает поверхность выравнивания как V эрозионно-аккумулятивную (высотой 50-60 м) террасу Верхней Ангары, имеющую доледниковый, т.е. доверхнеплейстоценовый возраст.

Сохранившиеся фрагменты верхнеплейстоценовой аккумулятивно-денудационной поверхности, сформированной полифацциальными рыхлыми осадками (среди которых преобладают валуны, галечники, пески и глины), прослеживаются в пределах лежащего крыла Кичерского сброса, образуя узкую террасовидную ступень, причлененную к основанию юго-восточного склона Кичерского хребта. «Высота и ширина ее увеличиваются в северо-восточном направлении. Если у мыса Курлы она фиксируется в виде абразионных ниш и «зализанных скал» на высоте 35-40 м над уровнем моря, то в районе устья р. Неручанды она сложена валунными галечниками и имеет высоту уступа 60-80 м» [Трофимов, 1988] и ширину до 300-400 м. Рельеф ее представляет собой выровненную наклоненную в юго-западном направлении плоскость с небольшими буграми, западинами и эрозионными врезами. В устье долины р. Холодной, на месте верхнеплейстоценового конуса выноса, уровенная поверхность испытывает пологое куполовидное возвышение до 20-30 м.

На участке между устьями Сухого Молокона и Холодной верхнеплейстоценовая аккумулятивно-денудационная поверхность расчленяется лишь узкими V-образными врезами водотоков.

Восточнее устья Холодной и до правого борта устья Умоликита верхнеплейстоценовый уровень сохранился только в виде небольших фрагментов шириной до 300 м и длиной до 1-2 км. Более высокая степень денудации отложений верхнеплейстоценовой уровенной поверхности на этом участке связана с ее блоковой раздробленностью в пределах зоны сброса, отступлением трасс вновь формирующихся разрывов в сторону борта впадины, в связи с чем, на большей части протяженности аккумулятивно-денудационная поверхность оказалась сброшенной со стороны делювиально-пролювиального предгорного шлейфа. На некоторых узких участках она перекрыта современными делювиально-пролювиальными отложениями. В последнем случае, ее уровень фиксируется по бровке фронтального уступа Кичерского сброса. В устьях крупных водотоков развивающиеся конусы выноса отесняют русло Кичеры и

ее проток, препятствуя боковой эрозии со стороны впадины, что положительно влияет на сохранность обширных реликтов уровенной поверхности, как, например, в окрестностях устьев рек Холодной и Неручанды.

Сейсмогенные деформации в конусах выноса и их изучение в разрезах канав

Большинство сейсмодислокаций в пределах Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) относятся к группе дислокаций, возникших под воздействием растягивающих напряжений. О растяжении, как о преобладающем факторе формирования современной структуры Северобайкальской впадины, свидетельствуют определения напряженно-деформированного состояния коры по механизмам очагов сильных землетрясений [Мельникова и др., 2005]. За последние три десятилетия, во время которых для изучения сейсмогенных структур активно использовался тренчинг, получен обширный фактический материал по внутреннему строению дислокаций в различных сейсмоактивных регионах мира. Рядом исследователей опубликованы обобщающие работы теоретической направленности [Directions..., 1987; McCalpin, 1996; Yeats et al., 1997, и др.]. Проводимые нами исследования деформаций в разрезах канав во многом опираются на эти разработки, и в данном случае, в большей степени на те из них, которые относятся к дислокациям зон растяжений.

Начатые нами в 2005 году работы мы рассматриваем как начальную стадию нового этапа сейсмогеологического изучения Кичерской структуры и Северо-Восточного фланга БРЗ в целом. Для начала тренчинга Кичерской структуры был выбран ее центральный участок. К настоящему времени пройдено две канавы. Проходка осуществлялась экскаваторной техникой в рыхлом валунно-галечниковом грунте, в связи с чем, поперечному профилю канав был придан вид перевернутой трапеции. Вертикальные стенки сохраняли устойчивость в течение лишь непродолжительного времени, что затрудняло их документацию. Канавы длиной 23 и 39 м обеспечили почти полное вскрытие уступов с захватом участков исходной поверхности. Первоначальная ширина канав по поверхности составляла 3-4 м, а максимальная глубина превышала 3 метра.

Первая из канав (986-й км трассы ВСТО) вскрывает уступ в западном сегменте конуса

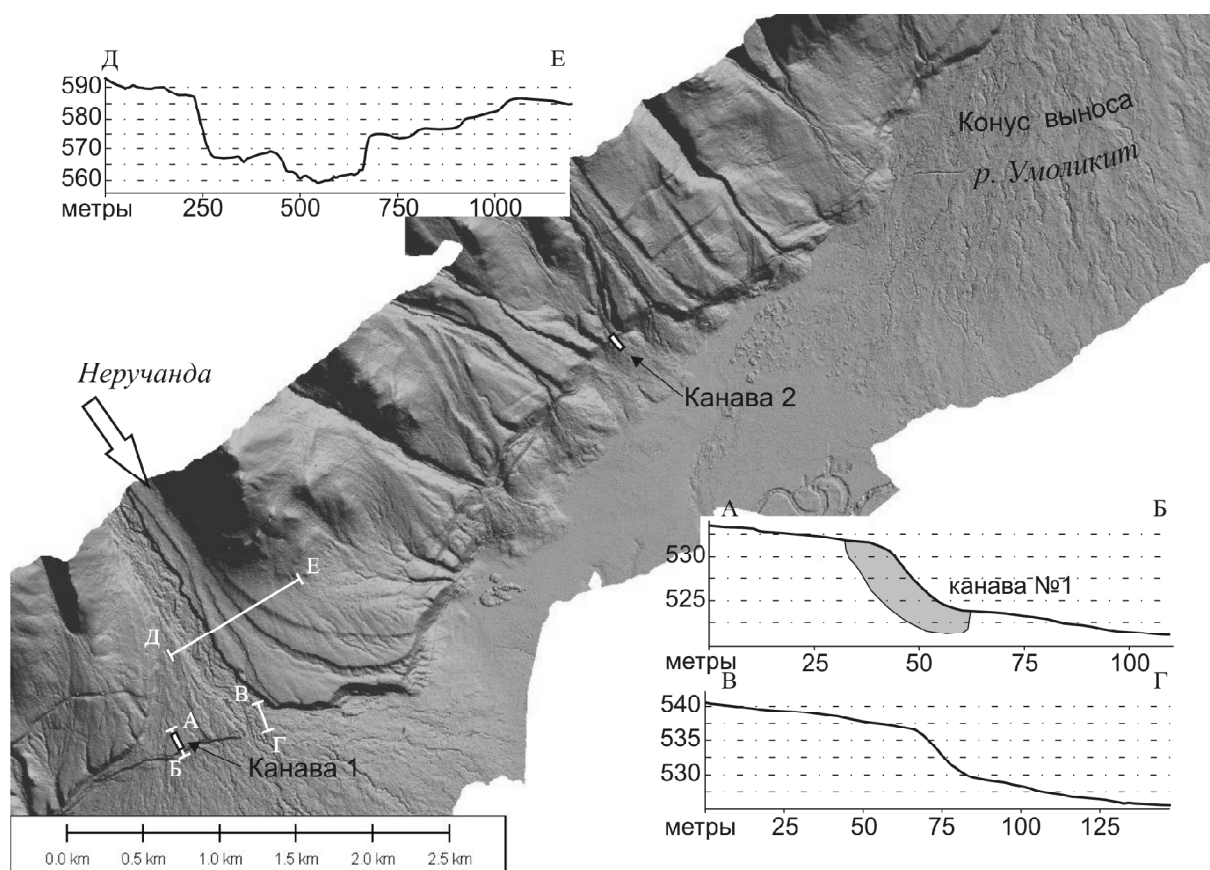


Рис. 2. Фрагмент центрального участка Кичерского сброса.

Показаны профили, выполненные программой обработки трехмерной цифровой модели поверхности. Профили А-Б и В-Г пройдены через сейсмогенный уступ, деформирующий конус выноса р. Неручанда. Амплитуда вертикального смещения выдержана на всем протяжении дислокации в пределах пролювиальных отложений. Профиль Д-Е пройден поперек комплекса речных террас. В центре показано место проходки канавы № 2. Расположение канавы № 1 совпадает с профилем А-Б.

выноса р. Неручанда (рис. 2). Это третий по величине площади (после рек Умоликит и Холодная) конус выноса среди правых притоков реки Кичеры. Валунно-галечниковые аллювиально-пролювиальные отложения конуса выноса вложены в сеймотектоническую ступень верхнеплейстоценовой поверхности. Развитие конуса выноса происходит на фоне расчленения верхнеплейстоценовой поверхности. Каждый раз наращивание уступа приводило к снижению местного базиса эрозии и врезанию руслового потока в пролювиальные отложения. В результате циклической смены процессов донной, и (в эпохи сеймотектонического затишья) боковой эрозии и планации поверхности конуса, в его головной части было сформировано четыре террасированных поверхности.

На рис. 2 видно, что эрозионные уступы террасированных поверхностей при выходе из долины образуют в плане дуговые загибы и

плавно сходятся с линией сеймотектонического уступа. Суммарная высота эрозионных уступов всех террасовых уровней соответствует амплитуде сброса верхнеплейстоценовой поверхности, что говорит о тесной связи процессов сбросообразования и развития конуса выноса.

На этапах сеймотектонического затишья, когда преобладают процессы боковой эрозии и накопления осадков, сбросовый уступ в пределах новой генерации конуса денудирован, а связанные с ним деформации перекрываются аллювиально-пролювиальными отложениями. Этот этап в сеймотектоническом цикле развития сброса занимает, вероятно, длительное время, на что указывает характер слоистости вскрытых канавой отложений. Они представляют собой ритмично переслаивающиеся многометровые толщи. Слои валунно-галечникового пролювия мощностью от нескольких

десятков сантиметров до одного метра, сменяются гравийно-галечниковыми слабонаклонными в сторону впадины аллювиальными прослоями мощностью 10-15 см. В этих прослоях галька уплощенной формы ориентирована согласно направлению потока.

Канавы № 2 пройдена через уступ, деформирующий пролювиально-делювиальный шлейф, протягивающийся вдоль основания борта впадины в 4,3 км восточнее канавы № 1. Здесь, за пределами устья крупной речной долины, переходным элементом от днища впадины к склону ее борта является предгорная косая равнина (пролювиально-делювиальный шлейф), образованная в результате слияния конусов выноса небольших эрозионных врезов, протягивающихся вглубь хребта на расстояние, не превышающее первые километры. С ростом уступа, разрывающего делювиально-пролювиальный шлейф в подножии борта впадины, на приподнятом крыле разлома развиваются вторичные эрозионные долины. При переходе через уступ в устьях этих долин формируются собственные небольшие конусы выноса. Их отложения представлены в разрезе канавы 2 так же, как и в канаве 1, ритмично чередующимися пролювиальными и аллювиальными слоями того же состава и той же мощности. Небольшим отличием в составе пролювия в канаве 2 может служить наличие валунов и глыб размерами от 0,5 до 2 метров, тогда как максимальный размер валунов в отложениях, вскрытых канавой 1, не превышает 0,5-0,7 м в поперечнике.

В зависимости от объема откладывающегося в основании уступа обломочного материала, конусы в разной степени перекрывают склон сейсмостектонического уступа, отчего вдоль простирания его высота не постоянна. Она максимальна на участках водораздельных мысов (до 50-60 м) и не превышает 10-15 м в местах, где разлом сечет молодые конусы эрозионных врезов (рис. 3).

Палеосейсмическая интерпретация канавы № 1

Канавой 1 вскрыт уступ в пролювиальных отложениях конуса выноса р. Неручанда. При беглом взгляде на стенку канавы обращает на себя внимание контрастный цветовой переход по уходящей под приподнятое крыло линии $F9$ (рис. 4). Эта линия служит разделом между темно-серой аллювиально-пролювиаль-

ной валунно-галечниковой массой, слагающей приподнятое крыло, и тяготеющих к зоне контакта со стороны опущенного крыла пролювия и перекрывающих его коричневатых слоев супеси и коллювиальных наносов. При этом создается обманчивое впечатление взбросовой кинематики роста уступа. Непротяженные взбросовые уступы в зонах разломов на флангах БРЗ известны и связаны, прежде всего, с горизонтальными смещениями, где вертикальная компонента имеет подчиненное значение [Смекалин и др., 1998; Чипизубов и др., 2003]. В пределах Кичерского разлома ни во время маршрутных исследований, ни при анализе аэрофотоснимков и снимков лазерного сканирования не было выявлено признаков горизонтальных смещений. Кроме того, сама морфология дислокаций на протяжении десятков километров не дает ни одного образчика обратного уступа. Сбросовая кинематика устанавливается и при внимательном изучении представленного разреза канавы (рис. 5), интерпретация которой проведена с учетом опыта практического использования тренчинга и его теоретических основ [McCalpin, 1996].

Против принятия плоскости $F9$ за сместитель взбросового типа выступают такие обстоятельства, как отсутствие по данной плоскости контакта слоистых неизмененных горизонтальных аллювиально-делювиальных толщ, т.е. хотя плоскость $F9$ и маркируется ориентированно расположенными вдоль нее уплощенными валунами, по большому счету, они лежат в зоне рыхлого коллювия, заполняющего трещину раскрытия. Отсутствуют также следы существования козырькового выступа в строении приподнятого крыла. Кроме того, по разрезу широко развиты трещины, имеющие падение как в сторону впадины, так и в сторону горного обрамления, для которых характерна сбросовая кинематика. В основании уступа, вблизи исходной наклонной поверхности, коллювием перекрыта еще одна клиновидная трещина, связанная с растяжением. Подобного вида трещины раскрытия имеют место и в строении взбросовых деформаций, но там они локализуются вблизи верхней бровки и возникают в результате изгиба или обрушения козырька надвинутого крыла под воздействием силы тяжести.

Главные деформации в разрезе канавы, обеспечивающие основную долю вертикальной амплитуды смещения, проецируются на центральную часть уступа (12-15 м на разметке ка-

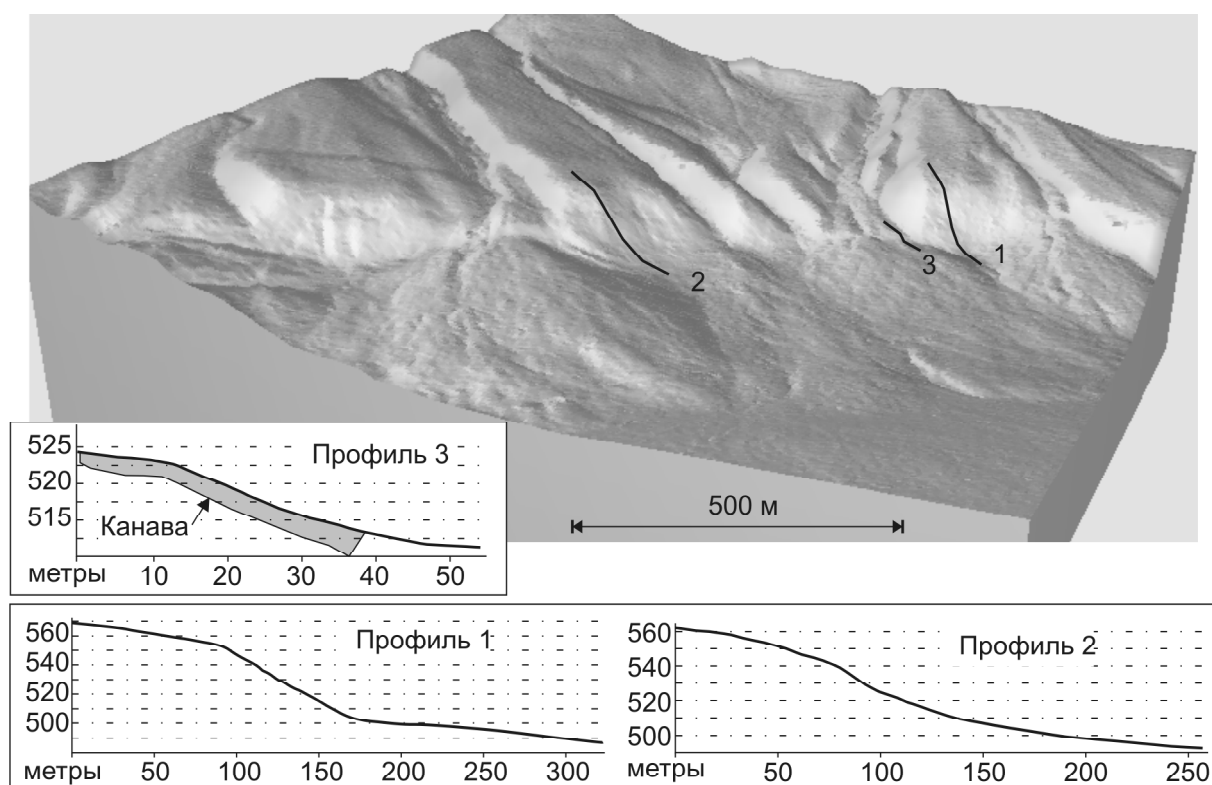


Рис. 3. Трехмерная модель рельефа с видом на сбросовый уступ в районе проходки кана-
вы № 2.

Профили 1 и 2 пройдены через основной сеймотектонический уступ с максимальной для Кичерского сброса амплитудой вертикального смещения. Профиль 3 пройден через уступ, деформирующий конус выноса серии эрозионных долин. Канавы № 2 вскрывают уступ по линии профиля 3.

навы, рис. 5). Здесь проходит условная граница между поднятым северо-западным и опущенным юго-восточным крыльями Кичерского разлома. Собственно плоскостей смещений, как таковых, в данном месте разреза не сохранилось. Наблюдаемые линейные несогласия в рыхлых отложениях представляют собой поверхности осыпавшихся стенок крэков – трещин раскрывшихся в момент сброса. Таковыми являются плоскости $F9$, $F7$ и $F8$. По цилиндрической плоскости $F6$ с небольшой амплитудой идет сползание приразломного куска пролювия. К главным деформациям тяготеет зона разуплотнения ($F10$), представленная преимущественно валунно-глыбовым и крупногалечниковым материалом, формирование которой сопровождалось выносом более мелких галек и гравия. Сместители второстепенных сбросов ($F1$, $F2$, $F3$, $F5$, $F11$ и $F12$), не подверженные раскрытию, имеют незначительные, в первые десятки сантиметров, амплитуды.

Характер деформаций, вскрытых канавой, однозначно свидетельствует об их форми-

ровании в результате нескольких (от 3 до 5) сейсмособытий. На это указывают: изменения условий осадконакопления на опущенном крыле, разновозрастность трещин (одни трещины перекрыты осадками, другие эти осадки секут), сложное строение крэка, наличие не менее двух коллювиальных клиньев.

Наиболее ранние деформации, относящиеся к началу периода сеймотектонической активизации зоны разлома, были малоамплитудными и не приводили к формированию коллювиальных клиньев. Скорее всего, вдоль разлома возникали раскрытые трещины и продольные грабены глубиной первые десятки сантиметров. Эти понижения были каналами для временных водотоков и местом, где накапливались хорошо отсортированные песчано-суглинистые слои коричневого цвета, резко контрастирующие с общей серой гаммой пролювиальной массы разреза. Столь резкое отличие в составе слоя, по нашему мнению, связано с изменением источника сносимого материала и направления стока от поперечного по отношению

к уступу к продольному. В стенке канавы супесчаный слой имеет мощность около 15 см и содержит кусочки древесного угля размерами от нескольких миллиметров до одного сантиметра, равномерно распределенных по всему слою. Угли отобраны для определения радиоуглеродным методом абсолютного возраста временной границы между первым и последующим палеособытиями. К сожалению, до сих пор не получены результаты датирования ни по одной из трех отобранных в кичерских канавах проб. Наличие слоя с органикой скорее является исключением для вскрытых обеими канавами аллювиально-пролювиальных отложений, что создает определенные трудности для определения абсолютного возраста палеоземлетрясений.

Последующее смещение по разлому имело вертикальную амплитуду не менее одного метра. Это следует из максимальной видимой мощности коллювиального клина *sw1*. Подходя клина лежит на супесчаном слое, описанном выше, и перекрывает малоамплитудный сброс *F11* по сопутствующей основному сместителю трещине. Материалом этого же коллювиального клина заполнена трещина со стенками *F12-F13* в основании уступа.

С третьим палеособытием связано образование крэка, обрушение стенок которого привело к формированию плоскостей *F6*, *F10* и свободных поверхностей *F9* и *F7*. В результа-

те разрушения и размыва выведенного на поверхность супесчаного слоя, свободная поверхность крэка со стороны впадины (*F9*) окрашивается в коричневатые оттенки.

Четвертое и, вероятно, ближайшее по времени событие привело к небольшому (не более 1 м) росту уступа и отразилось в усложнении строения крэка. Трещиной *F8* крэк был разделен на две равные по объему части, из которых та, что со стороны поднятого крыла, была опущена на 30-40 см. Смещение устанавливается по реперам, в качестве которых выступают тонкие (2-3 см) слойки мелкого гравия, образовавшиеся на поверхности крэка, засыпанного после третьего события. Впоследствии в процессе выравнивания склона уступа над крэком был сформирован коллювиальный клин *sw2* мощностью 0,5-0,7 м.

Палеосейсмическая интерпретация канавы № 2

Канавы № 2 пройдена вкрест простирания 11-метрового сбросового уступа и вскрывает деформации поверхности конуса выноса одного из врезов в основании передового склона Кичерского поднятия в 3,5 км северо-восточнее устья долины Неручанды (рис. 2). Канавой охвачены основные структурные элементы уступа, включая перегиб вблизи бровки уступа и участок максимального уклона поверхности.

В стенках канавы (рис. 6 и 7) обнажены преимущественно пролювиальные валунно-галечниковые отложения с прослоями галечникового аллювия. Осадки деформированы в процессе постседиментационного роста уступа и перекрыты незначительным по мощности плащом, состоящим из различных фракций обломочного материала (в разной степени размывы и перемещенные отложения коллювиальных клиньев). Коллювием же заполнены и трещины отрыва – крэки.

Доказательством сейсмогенности деформаций, следующим из разреза канавы, служит резкое изменение условий осадконакопления в результате значительного (первые метры) и быстрого роста уступа. Разновозрастность разрывов и сопровождающих их коллювиальных сносов говорит о формировании уступа в результате нескольких сейсмических событий, разделенных во времени (многоактность). Наличие сбросовых уступов со сходными морфосейсмическими параметрами практически во

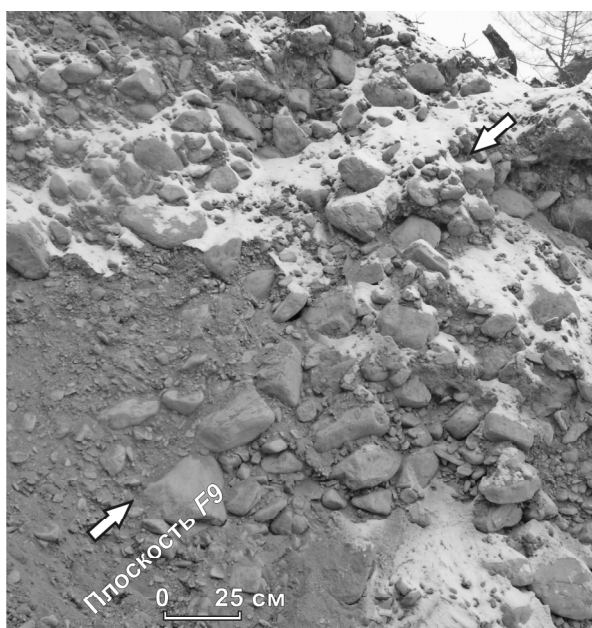


Рис. 4. Фрагмент стенки канавы.

Между стрелками проходит плоскость *F9*, трассируемая небольшими валунами. Фото А.В. Чипизубова.

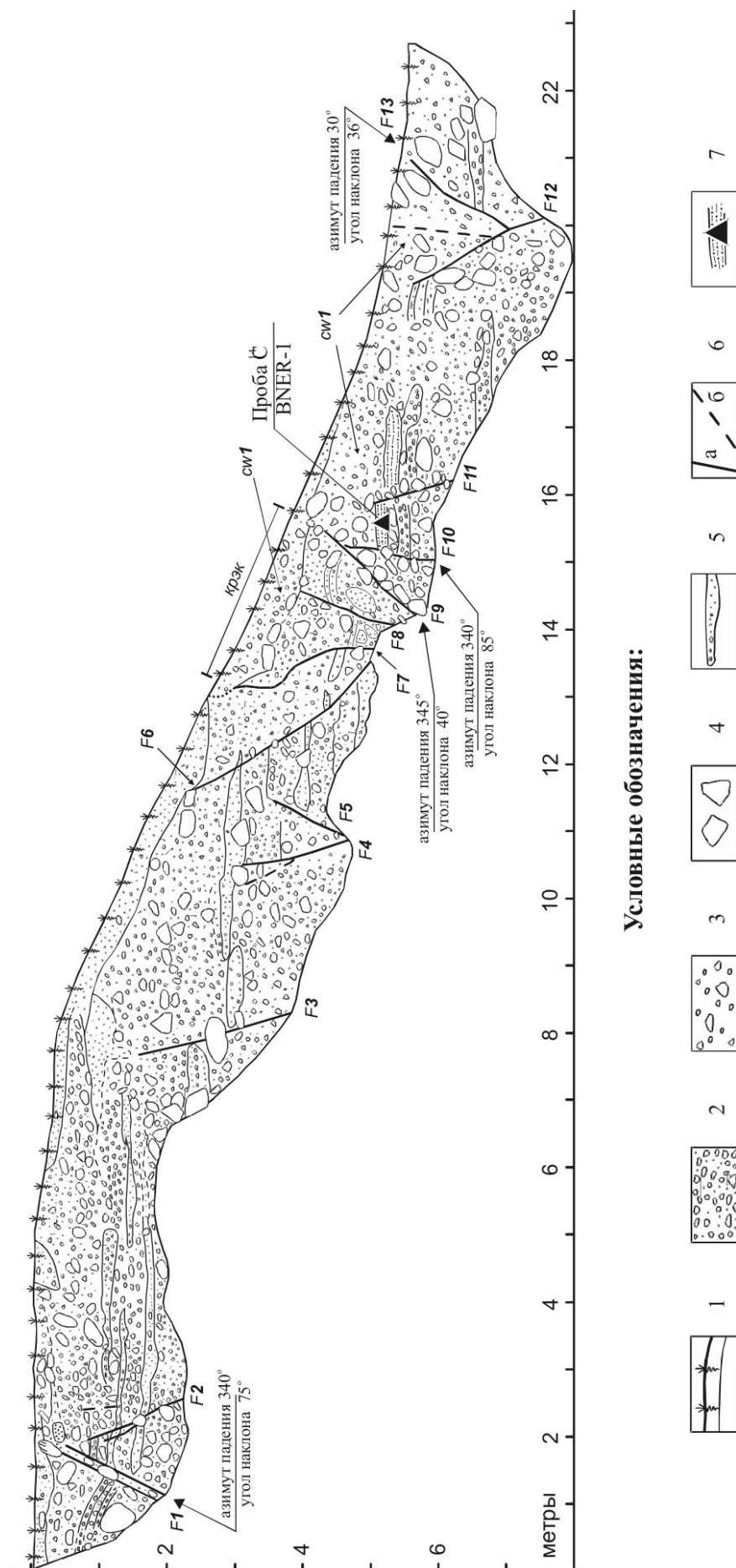


Рис. 5. Схема разреза восточной стенки канавы №1, пройденной через сейсмогенный уступ, деформирующий поверхность конуса выноса
р. Неручанды. Документировали В.П. Ёлкин, О.П. Смекалин, А.В. Чилизубов, В.С. Имаев (ноябрь 2005 г.).

Условные обозначения: 1 – современный почвенно-растительный слой чёрного цвета, представленный супесью с включениями валунов и гальки; 2 – гравийно-галечниковый грунт с крупнозернистым песчаным заполнителем; 3 – валунно-галечниковый грунт с грубозернистым песчаным заполнителем; 4 – отдельные крупные валуны и глыбы; 5 – прослой гравийно-галечникового аллювия; 6 – разрывные нарушения с отчетливо выраженной плоскостью смещения или отрыва (а), и слабо выраженные трещины нарушения целостности грунта (б); 7 – место отбора пробы на радиоуглерод из супесчаного слоя

всех конусах выноса, нанизанных на линию центрального фрагмента Кичерского разлома, свидетельствует о существовании голоценового этапа сейсмотектонической активизации разлома. Предшествовавший ему этап относительного сейсмотектонического затишья характеризовался размывом ранее существовавших уступов в границах устьев эрозионных долин (вследствие преобладания процессов боковой эрозии) с последующим накоплением осадков с образованием современной генерации существующих конусов выноса. Как следует из разреза канавы, толща, накопившаяся в конце этапа сейсмотектонического затишья, представлена параллельными, латерально выдержанными аллювиальными и пролювиальными слоями общей мощностью не менее 5 м.

Пролувиальные отложения преобладают в разрезе. Они представлены в основном валунно-галечниковой смесью с песчано-гравийным заполнением. В целом толща имеет серый цвет. Для распределения обломочного материала характерно увеличение размера обломков снизу вверх по разрезу. Если слой $p3$ состоит в основ-

ном из слабо окатанной средней и мелкой гальки, то в залегающих выше слоях $p2$ и $p1$ преобладают небольшие валуны и глыбы, нередко превышающие в поперечнике 0,5 м. При проходе на 10-м метре от северного конца канавы на забое был оставлен валун, не влезавший в ковш экскаватора. Его размеры в поперечнике достигают 2 м. Разница в составе осадков слоев $p2$ и $p3$ настолько существенная, а граница между ними столь резкая, что кровлю слоя $p3$ удобно рассматривать как маркер при корреляции осадков вдоль разреза канавы, осложненного многочисленными трещинами со смещением. В качестве еще одного репера используется аллювиальный слой $a1$, залегающий между слоями $p1$ и $p2$.

Аллювиальные слои сложены гравийно-галечниковой смесью. Галька в основном мелкая, редко превышающая 10 см. Уплотненные разности ориентированы горизонтально. Из аллювиальных слоев вдоль всего разреза прослеживается лишь слой $a1$. Залегающие под слоем $p3$ аллювиальные наносы $a2$, $a3$ и $a4$ обнажены на незначительном протяжении меж-



Рис. 6. Общий вид горной выработки.

В стенках канавы обнажены преимущественно валунно-галечниковые пролювиально-аллювиальные отложения серого цвета. Фото В.С. Имаева.

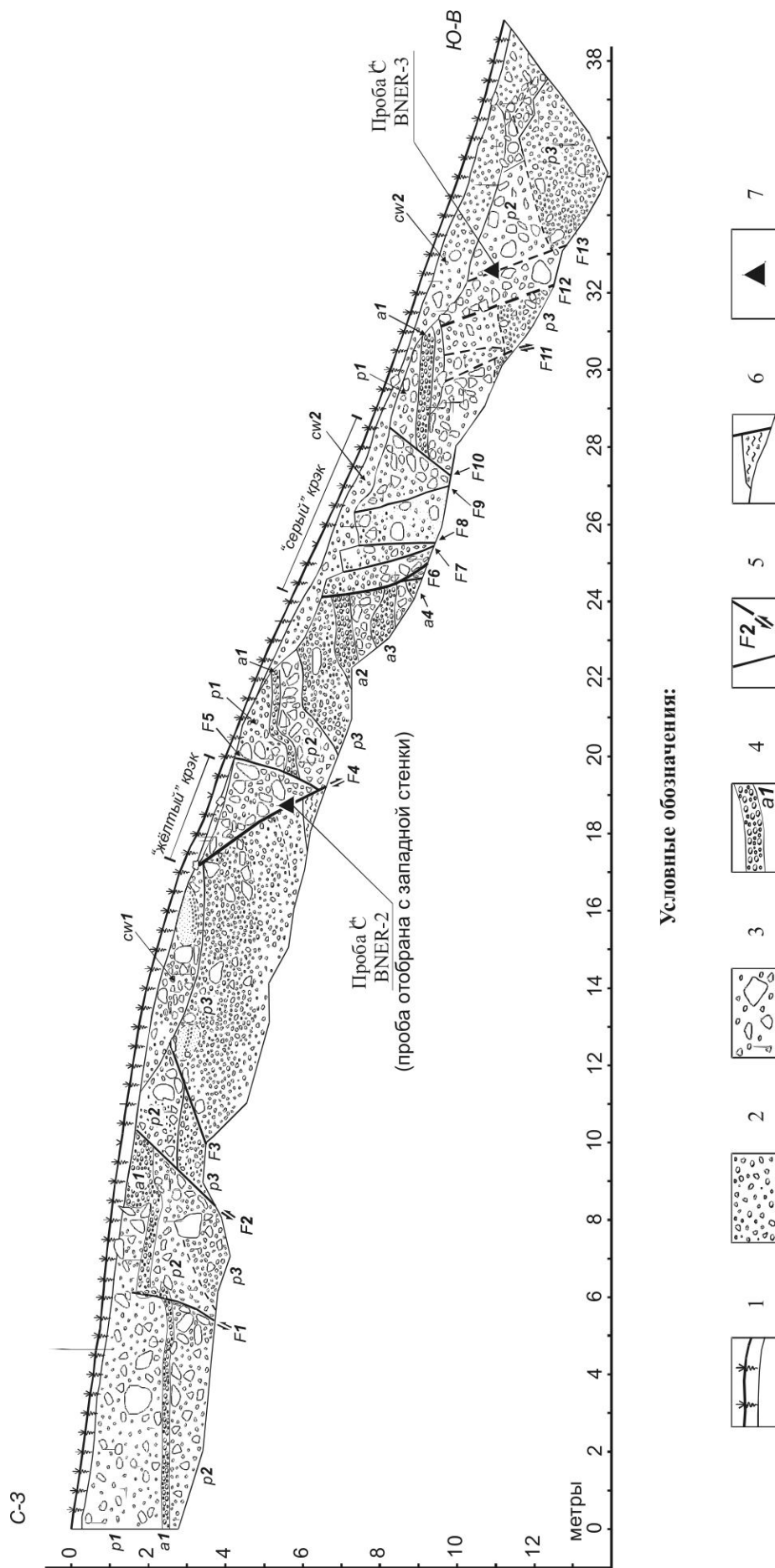


Рис. 7. Схема разреза восточной стенки канавы, пройденной в основании горного склона в междуречье Неручанды и Умоликита (992 км трасы ВСТО). Документировали В.П. Ёлкин, О.П. Смекалин, А.В. Чипизубов, В.С. Имаев (ноябрь 2005 г.).

Условные обозначения: 1 – современный почвенно-растительный слой чёрного цвета, представленный супесью с включениями валунов и гальки; 2 – гравийно-галечниковый грунт с крупнозернистым песчаным заполнителем; 3 – валуно-галечниковый грунт с грубозернистым песчаным заполнителем; 4 – прослой сортированного ориентированного по направлению трещины нарушения целостности (пунктирные линии) с указанием направления смещения; 5 – разрывные нарушения с отчётливо выраженной плоскостью смещения или отрыва и, возможно, малоамплитудные трещины нарушения целостности (пунктирные линии) с указанием направления смещения; 6 – султинок зелёного цвета с включениями мелкообломочного материала; 7 – места отбора проб на радиоуглеродный анализ.

ду разломами *F4* и *F6*, где они опрокинуты под углом 5-10° в сторону нагорного (приподнятого) крыла разлома. Обратный наклон блоков, вычлененных сбросовыми трещинами, характерен именно для условий растяжения, при которых в определенных случаях срабатывает механизм домино «domino-style faulting affects» [McCalpin, 1996].

Большое количество трещин в разрезе канавы связано как с приповерхностным ветвлением основного сместителя Кичерского сброса, так и с дроблением поверхностных слоев вследствие нарушения их геометрической сплошности. Кроме сбросовых разрывов и смещений блоков, рост уступа сопровождался также формированием клиновидных расщелин, прослеживающихся вдоль уступа и заполненных преимущественно валунно-глыбовым коллювием. Своим появлением эти расщелины (специфические трещины раскрытия), по мнению Дж. МакКэлпина [McCalpin, 2005], обязаны прежде всего выполаживанию с глубиной поверхностей сместителя и также свидетельствуют о растягивающем направлении сейсмогенной подвижки. Склон уступа, вскрытый канавой, осложнен двумя такими крэками, отвечающими положению двух основных приповерхностных ветвей сместителя *F4* и *F6*. Противоположные их границы *F5* и *F10* отражают современное состояние бывших бортов расщелин, или, другими словами, стенок отрыва. Крэки, вероятно, сразу же после их формирования в момент землетрясения активно заполняются валунно-глыбовым коллювием.

Мы считаем, что нижний и верхний крэки возникли при разных сейсмических событиях, и можно предположить, что располагающийся ниже по склону – старше. Этот вывод можно сделать из следующих характеристик их строения. Во-первых, нижний крэк заполнен коллювием, по своему составу сходным с пролювиально-аллювиальной толщей, имеющим характерный для всего разреза серый цвет, а верхний – завален коллювием желтоватого цвета, резко контрастирующего с вмещающей пролювиально-аллювиальной толщей. Во-вторых, верхний, более молодой, крэк *c1* имеет простое строение. В отличие от него, нижний осложнен вторичными трещинами *F7*, *F8*, *F9*, по которым с незначительной амплитудой смещены отложения в подошве коллювиального клина *sw2*, перекрывающего этот крэк.

Кроме разрывных нарушений, связанных с возникновением и эволюцией этих клиньев-расщелин, в разрезе канавы выделяются еще две группы трещин. Одна из них располагается вблизи привпадинного окончания канавы. Разрывы *F11*, *F12* и *F13*, принадлежащие к этой группе, относятся к наиболее ранним из вскрытых в канаве и выражены не столь отчетливо, как те, что были описаны выше. Они разрывают со смещением пролювиальные отложения *p3* и *p2*, однако оставляют в неприкосновенности верхний аллювиальный слой *a1*. Из этого следует, что трещины данной группы возникли на заре последней сеймотектонической активизации и первоначально имели небольшие амплитуды, так как не произошло значительных изменений в условиях накопления осадков. Нельзя исключать, что при дальнейшем продвижении трещинообразования в сторону нагорного крыла могли иметь место обновления подвижек по разрывам *F11*, *F12* и *F13* с накопленной к настоящему времени суммарной амплитудой по ним около 1,5 м.

К другой группе трещин относятся разрывы в головной части уступов *F1*, *F2* и *F3*. В отличие от большинства вышеописанных разрывных нарушений, эти разломы падают в направлении горного поднятия. Они являются сбросами с небольшой амплитудой (0,5-0,7 м) с закономерно меняющимися углами падения от крутого (65°) до пологого (20°), образующими веерный рисунок. Разнонаправленные сбросовые движения образуют некоторое подобие горста, заключенного между разломами *F3* и *F4*.

Коллювиальные клинья *sw1* и *sw2* представлены в разрезе канавы фрагментарно и лишь подошвенными частями, что объясняется интенсивным смывом рыхлого материала при сглаживании поверхности уступа. Этому благоприятствуют расположенные в непосредственной близости крутосклонные 30-, 40-метровой высоты площади бортов эрозионной долины и основного сеймотектонического уступа.

В разрезе канавы отсутствуют захороненные гумусосодержащие слои, что затрудняет получение абсолютных возрастов сейсмогенных деформаций. При детальном обследовании трещин выявлены небольшие карманы с затянутыми в них кусочками древесного угля. Образцы углей на радиоуглеродный анализ отобраны из полостей разрывов *F4* и *F13*. Возраст датировки BNER3 из трещины *F13* даст воз-

возможность оценить время начала роста 12-метрового уступа, что будет также соответствовать окончанию последнего этапа сейсмоструктурного спокойствия. Возраст датировки BNER2 из трещины *F4* укажет на время последнего разрывообразующего сейсмического события, амплитуда смещения при котором составила 2,5-3,0 м.

Заключение

Первые результаты изучения внутреннего строения сейсмодетонаций и связи сейсмичности с развитием отдельных генераций конусов выноса позволяют сделать вывод о периодичности активизации сейсмических движений по зоне Кичерского разлома. Каждый период активизации сопровождается серией относительно близких во времени разрывообразующих землетрясений. Средняя периодичность этих землетрясений составляет первые тысячи лет. При продолжении начатых работ и получении достаточного числа радиоуглеродных датировок точность оценки периода повторяемости может достигнуть первых сотен лет. Периоды сейсмической активизации разделены сейсмическим затишьем, для которого характерно снижение числа сильных землетрясений с одновременным уменьшением их энергии. Исходя из значений уровней последних генераций поверхностей конусов и суммарной амплитуды голоценовых сбросов, можно предположить, что сейсмоструктурный процесс находится на среднем или завершающем этапе периода сейсмической активизации.

Во внутреннем строении деформаций, расположенных на расстоянии около 5 км друг от друга, при различиях в деталях основного рисунка определяют общие черты. Среди них главными являются: наличие крэкков – раскрытых трещин; сложное строение крэкков; мало-мощные коллювиальные клинья; обилие сбросовых трещин, падающих как в сторону впадины, так и под горное обрамление; и др. Все они предопределены схожим составом поверхностных деформируемых отложений и единой кинематикой деформаций.

Данные исследования выполнены при поддержке фонда РФФИ (проекты: 06-05-64492а и 07-05-00760а, а также Интеграционной программы СО РАН (ИП-87) и экспедиционного проекта СО РАН 2006 г.

Список литературы

- Геоморфология Северного Прибайкалья и Станового нагорья / Отв. ред. А.Г. Золотарев. М.: Наука, 1981. 198 с.
- Ендрихинский А.С. Границы и геоморфологическое районирование Станового нагорья // Рельеф и четвертичные отложения Станового нагорья. М.: Наука, 1981. С. 6-19.
- Зорин Ю.А. Новейшая структура и изостазия Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий. М.: Наука, 1971. 167 с.
- Леви К.Г., Кульчицкий А.А. Поверхности выравнивания северо-восточной части Байкальской рифтовой зоны // Рельеф и четвертичные отложения Станового нагорья. М.: Наука, 1981. С. 19-35.
- Мазукабзов А.М., Замараев С.М., Синцов А.В. Тектоника Северного Прибайкалья // Геологические и сейсмические условия района БАМ. Новосибирск: Наука, 1978. С. 4-16.
- Мельникова В.И., Гилева Н.А., Радзиминович Н.А. и др. Кичерские землетрясения 21 марта 1999 года с $M_w = 6,0$ и с $M_w = 5,6$, $10 = 7-8$ (Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. Обнинск: ФОП, 2005. С. 280-295.
- Смекалин О.П., Чипизубов А.В., Дельянский Е.А. Взбросы и сдвиги в разрезах канав Торской сейсмогенной структуры // Проблемы геодинамики, сейсмичности и минерализации подвижных поясов и платформенных областей литосферы. Мат-лы междунар. конф. Екатеринбург: ИГ УрО РАН, 1998. С. 163-165.
- Стром А.Л. Сопоставление параметров современных и палеосейсмоструктурных дислокаций // Физика Земли. 1993. № 9. С. 38-42.
- Трофимов А.Г. Душканская терраса Северобайкальской впадины // Тез. докл. регион. конф. Прикладная геоморфология и неотектоника. Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1988. С. 15-16.
- Трофимов А.Г. Геология флювиальных отложений и этапы развития речной сети Северного Прибайкалья. Канд. дис. Иркутск, 1994. 156 с.
- Флоренсов Н.А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. М., Л.: Изд. АН СССР, 1960. 258 с.
- Хромовских В.С., Солоненко В.П., Чипизубов А.В., Жилкин В.М. К сейсмоструктурной характеристике Северного Прибайкалья // Сейсмичность и глубинное строение Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1978. С. 101-107.
- Чипизубов А.В., Смекалин О.П., Семенов Р.М. Палеосейсмодислокации и связанные с ними палеоземлетрясения в зоне Тункинского разлома (юго-западное Прибайкалье) // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 6. С. 585-600.
- Яценко А.А. Наблюдения над террасами некоторых рек Байкальской горной области // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1956. № 6. С. 101-107.
- Bonilla M.G. Trench exposure across surface fault rupture associated with San Fernando earthquake,

in San Fernando, California, earthquake of February 9, 1971. Geological and Geophysical Studies: U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration. 1973. V. 3. P. 173-182.

Clark M.M., Grantz A., Rubin M. Holocene activity of the Coyote Creek fault as recorded in sediments of Lake Cahuilla // The Borrego Mountain earthquake of April 9, 1968. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper. 1972. V. 787. P. 112-130.

Converse D. Geologic report on the probability of faulting at the Paramedical Building site, San Bernardino valley Joint Union College district. 1968. Unpublished report. 11 p.

Directions in paleoseismology. Open-file report 87-673. Denver, Colorado, 1987. 456 p.

McCalpin J.P. Paleoseismology. San Diego, Academic press, 1996. 585 p.

McCalpin J.P. Late Quaternary activity of the Pajarito fault, Rio Grande rift of northern New Mexico, USA // Tectonophysics. 2005. V. 408. P. 213-236.

Sieh K.E. Prehistoric large earthquakes produced by slip on the San-Andreas fault at Pallet Creek, California. // J. Geoph. Res. 1978. V. 83. № B8. P. 3907-3939.

Wells D.L., Copersmith K.J. Empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement. Bull. Seismol. Soc. Am. 1994. V. 84. P. 974-1002.

Yeats R.S., Sieh K., Allen C.R. The geology of Earthquakes. Oxford university press, 1997. 568 p.

Рецензент доктор геол.-мин. наук Г.А. Афанасьева