

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.4.037 : 550.349.4(235.223)

© 1999 г. Б.П. АГАФОНОВ

**ДЕНУДАЦИЯ СКЛОНОВ ПРИ СЕЙСМОВОЗДЕЙСТВИЯХ УМЕРЕННОЙ
ИНТЕНСИВНОСТИ****(на примере Тункинского землетрясения 1995 г.)¹**

Чувствительность склонов к сейсмотолчкам обуславливается тем, что образующийся на них в результате выветривания пород рыхлый материал постоянно готов к смещению, и иногда достаточно небольшого сейсмоимпульса, чтобы вывести его из состояния равновесия. В других случаях для сдвига потребуются более интенсивные сейсмотолчки, а какие-то породы могут прийти в движение только от катастрофических землетрясений. Вот эти-то свойства склонов и следует использовать в качестве геодинамических индикаторов землетрясений не только высокобалльной, но и умеренной, а подчас и слабой интенсивности [1].

Для фактического подтверждения чуткой сейсмоиндикационности склонов необходимы специальные тщательные полевые исследования на выбранных для этого территориях как до землетрясений, так и сразу после них, с применением некоторых специфических методических приемов. Подробные систематические обследования территорий до землетрясения желательны для того, чтобы заранее выявить участки склонов, где следует ожидать сейсмогенные подвижки горных пород, а также зафиксировать следы произошедших там свежих срывов грунта, чтобы затем сразу же отделить их от вновь возникших сейсмогенных смещений или рыхлых масс.

Одним из таких объектов, где в последние годы мною велись систематические геоморфологические наблюдения, является бассейн р. Кынгарги, которая дренирует южный склон хребта Тункинские Голцы.

30 июня 1995 г. в 8 ч 02 мин по местному времени произошло землетрясение с эпицентром 51,75° с.ш. и 102,76° в.д. в Тункинской впадине в 28 км юго-восточнее курорта Аршан и выхода р. Кынгарги из гор. Магнитуда землетрясения 5,9, энергетический класс 14,5, интенсивность в эпицентре 7 баллов, гипоцентр находился на глубине приблизительно 10 км. В пос. Аршан интенсивность этого землетрясения оценивается в 6–7 баллов (все вышеприведенные сейсмологические данные предоставлены С.И. Голенецким). Объект нашего исследования – горная часть бассейна р. Кынгарги длиной 8 км находится севернее пос. Аршан, т.е. дальше от эпицентра, и интенсивность его сейсмического сотрясения, очевидно, не превышала 6 баллов.

Наиболее интенсивно на землетрясение 30 июня 1995 г. отреагировали склоны в зонах пересечения разломов и, прежде всего, в суженном участке долины (участок № 1) протяженностью около 1,9 км к северу от 7-метрового водопада (рисунок). Высота бортов долины достигает здесь 200–250 м. Характерные особенности склонов этого участка,

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 98-05-64287) и ФЦП "Интеграция" (проект 5.1).

обусловившие особую податливость к сейсмовоздействию, связаны с их положением в зоне пересечения двух разломов [2, 3].

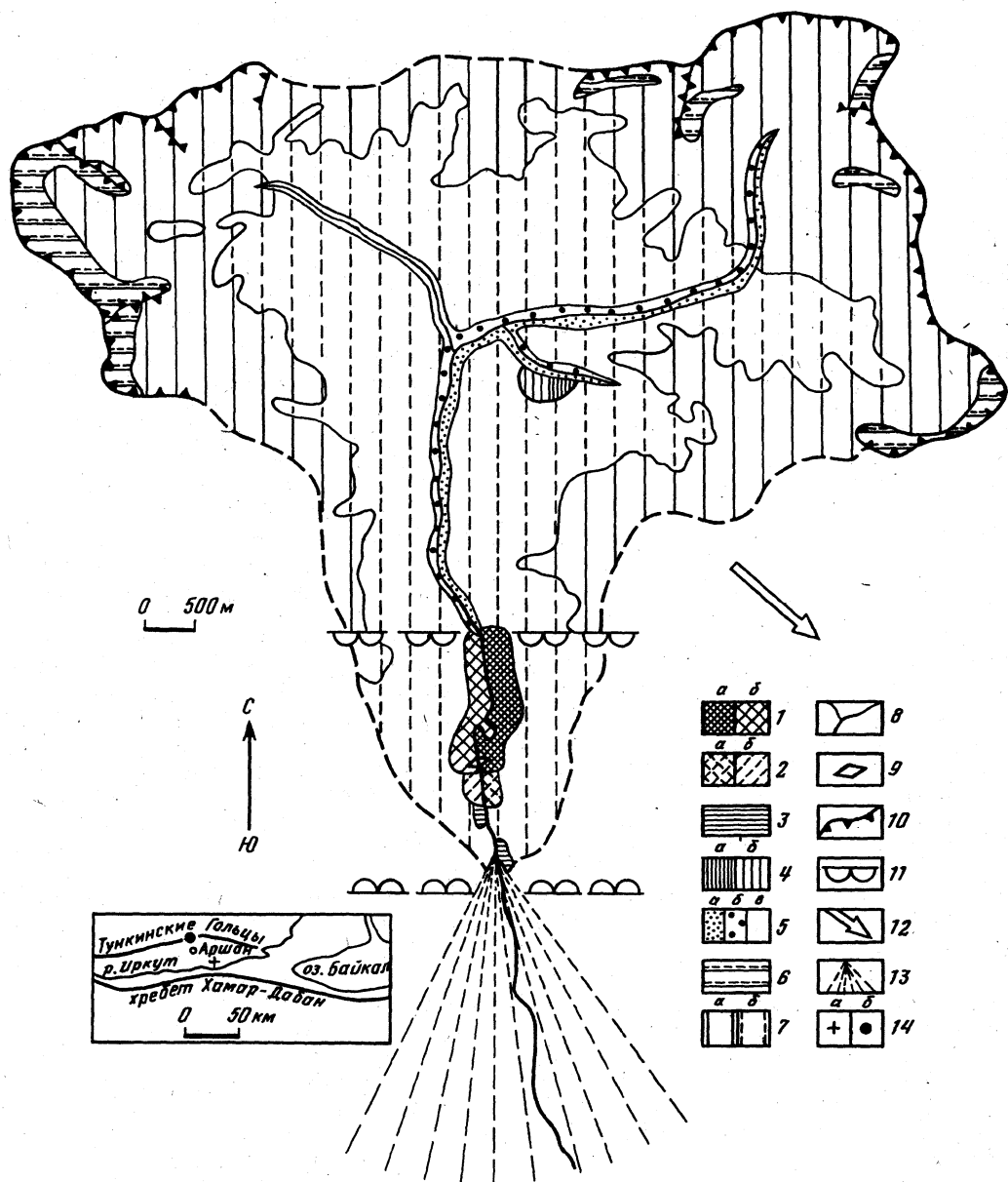
Склоны бассейна р. Кынгарги отреагировали на Тункинское землетрясение преимущественно обвальными, реже обвально-осыпными процессами. Это можно объяснить тем, что землетрясению предшествовали длительные засушливые погодные условия и склоновые отложения потеряли влагу, что не благоприятствовало образованию сплывов, склоновых селей, оползней.

Обвалились преимущественно нависающие, повышенно трещиноватые участки скальных обрывов, часто подсеченных в основании наклоненными в сторону реки трещинами, а также субвертикальными обнажений рыхлых толщ. Всего на рассматриваемом 1900-метровом каньонообразном участке долины образовалось семь обвалов: четыре – с правого и три с левого склона. О возникновении их именно после Тункинского землетрясения говорили свежеповаленные деревья, сбитые с них ветви с незасохшей листвой, наличие под обрушившимися обломками горных пород свежепримятой кустарниково-травяной растительности. Учитывались также свидетельства местных жителей и отдыхающих о появлении следов этих обвалов именно после сейсмических событий 30 июня 1995 г. В основном обвалы небольшие. Два сравнительно крупных обвала с левого борта долины, находящиеся в 35–40 м друг от друга, наполовину перегородили русло р. Кынгарги. Ширина реки на участке их обрушения всего 9 м. Эти обвалы образовались в результате обрушения ослабленных трещиноватостью скальных участков склона. Сорвавшиеся примерно с 120–130-метрового скального уступа крутизной 80° массы пород обрушились на нижерасположенную густо залесенную часть склона крутизной от 40 до 50°, оставив полосы сбитых деревьев ("прочесы" в лесу). Ширина "прочесов" на скалистой стенке изменяется от 13 до 20 м, а ниже на более пологом участке – от 8 до 12 м.

У подножия скалистого обрыва, где крутизна поверхности резко уменьшается до 35–40°, задержалась основная часть обвалившегося материала (559 м³, или 67%) и более половины всех сбитых обвалом деревьев (68 экземпляров). Стволы, ветви и вывороченные корни деревьев легли внахлест и послужили своеобразной арматурой, способствовавшей задержке здесь рыхлого материала. Ниже по склону вплоть до русла р. Кынгарги продолжается полоса сбитых деревьев с чередованием поверхностных срывов почвенно-дернового покрова на глубину до 0,5 м и нагромождений смеси почвы, стволов деревьев, отломанных веток, мха. У подножия склона из обвального материала сформировались конусы выноса, упершиеся фронтальной частью в русло р. Кынгарги и наполовину перегородившие ее.

Кроме того, в результате этих обвалов в русло попало много отдельных глыб. Наиболее крупные из них вместе со сбитыми со склона стволами деревьев выброшены на противоположный правый берег реки. Самые крупные глыбы достигают размера 3,5 м × 2 м × 1,7 м. Глыба 1,3 м × 1 м × 0,7 м заброшена на крутой противоположный берег на высоту 1,2 м над урезом реки на расстояние 5 м от береговой линии. А обломки пород до 30 см в поперечнике оказались на противоположном склоне на высоте от 3 м над урезом реки в 5 м от берега. Всего в русло реки и на ее берега этими двумя обвалами принесено 187 м³ обломочного материала с участка склона площадью около 14000 м² (при расчете площади посредством детального профилирования склона учтены мелкие неровности поверхности). Средний слой денудационного срезания на этом участке соответственно достиг 13,4 мм практически за несколько секунд сейсмического воздействия умеренной интенсивности. Если учесть площадь, непосредственно затронутую обвалами, без поверхности склона между ними, по которой прокатились только отдельные обломки пород, то денудационное срежение составит более 2 см. На первый взгляд величины эти не производят особого впечатления. Но следует иметь в виду, что это практически мгновенная денудация. Для денудационного срезания склонов на такие величины не сейсмогенными процессами потребовались бы десятки лет, о чем свидетельствуют, например, данные М.И. Ивероновой по Тянь-Шаню [4], И.Н. Рашбы по Западному Саяну [5], В.А. Хрисанова по Кавказу [6] и многих других исследователей. Учитывая, что часть обвального материала задержалась по пути движения, получаем, что на данном участке склона землетрясением было приведено в движение около 900 м³ грунта.

Если в результате рассмотренных двух обвалов значительная часть обломков (21%) была снесена к подошве склона, в русло реки, то материал следующего подобного обвала с того же левого борта, образовавшегося в 70 м выше по течению Кынгарги, почти весь (не менее 345 м³ грунта) отложился на резком перегибе поверхности склона у основания субвер-



Районирование горной части бассейна р. Кынгарга по интенсивности обвальных и обвально-осыпных процессов, вызванных Тункинским землетрясением 30 июня 1995 г.

1 – 1-й участок долины с бортами высотой 200–250 м, объем обвалившегося материала 1268 м³ (а) и 47 м³ (б); 2 – 2-й участок с 40-метровыми бортами, обрушились небольшие порции обломочного материала: около 34 м³ (а) и 3,5 м³ (б); 3 – обнажения цокольных террас (3-й участок), общий объем обрушившегося рыхлого материала 180 м³; 4 – 4-й участок – скалистый обрыв высотой около 200 м, объем обрушившегося материала с его восточной оконечности (а) 420 м³, а с остальной части (б) 148 м³; 5 – 5-й участок – выпадение одиночных глыб из береговых обрывов: а – наиболее интенсивное (в сумме около 33 м³), б – слабое (около 12 м³), в – предполагаемое слабое; 6 – обвалы глыб из стенок каров (в сумме 1190 м³); 7 – склоны: а – крутизной 25–40° с редкими обвалами глыб и микроподвижками рыхлого материала в гольцах, б – с еще более редкими теми же процессами на залесенных и задернованных поверхностях; 8 – русла р. Кындарга и ее притоков; 9 – водопад высотой около 7 м; 10 – бровки стенок каров; 11 – зона Тункинского разлома; 12 – направление на эпицентр Тункинского землетрясения; 13 – паводково-селевый конус выноса; 14 – местоположения эпицентра Тункинского землетрясения 30 июня 1975 г. (а) и горной части долины р. Кынгарга (б) (на схеме)

тикального скального уступа. К основанию склона было вынесено всего 33 м³ обломков горных пород. В целом, на левом борту рассматриваемого участка долины в результате трех обвалов было вовлечено в смещение 1268 м³ обломочного материала и примерно пятая часть его, около 220 м³, достигла подножия склона.

Другие четыре обвала на правом борту этого суженного участка долины по характеру зарождения и смещению обломочного материала аналогичны только что описанным. Поэтому нет особой необходимости охарактеризовывать их по отдельности. Следует лишь сказать, что они гораздо меньше по объему, но несмотря на это оставили также заметные следы в виде поломанных деревьев или эродированного слоя почвы. Этими обвалами на правом склоне приведено в движение всего лишь 47 м³ рыхлого материала, из которых не менее 2 м³ в виде отдельных глыб вынесено к основанию склона и в р. Кынгаргу.

Общий объем обвалившихся и вовлеченных в движение рыхлых масс, суммируя все семь отмеченных обвалов на этом участке долины, составил 1315 м³, при этом со склонов полностью было удалено только 222 м³ обломочного материала.

Суженный участок продолжается и ниже по течению 7-метрового водопада (рисунок), но эту часть долины длиной около 315 м следует рассматривать как особый район (участок 2). Здесь долина врезана в более низкую тектоническую ступень и ее борта соответственно возвышаются над дном всего на 40 м. Из-за их сравнительно малой высоты сейсмолочок вызвал лишь осыпание отдельных порций обломков из зон повышенной трещиноватости пород и падение небольших глыб с нависающих уступов скальных склонов. Как и на первом участке, здесь четко выражена асимметрия в сносе материала. С левого склона ущелья обрушилось около 34 м³ обломков пород, а с правого только 3,5 м³ грунта, хотя по морфологии, крутизне и высоте они мало чем отличаются друг от друга. Денудационное срезание поверхности бортов соответственно также не одинаково. Принимая в расчет не весь обвалившийся материал, а только скатившийся на дно, получаем, что левый борт ущелья общей площадью 12600 м², денудировался в среднем на 2,2 мм, а аналогичный правый – всего на 0,2 мм. Если в рассчитанные величины внести поправки на неровности поверхности бортов, составляющие здесь не менее 20%, то денудационное сейсмогенное срезание соответственно снизится для левого склона до 1,8 мм, а правого – до 0,15 мм.

Ниже по течению реки можно выделить еще один специфический район – участок 3 (рисунок). В нем на Тункинское землетрясение среагировали обнажения селевых галечно-валунных отложений и залегающих под ними сильно выветрелых, местами до состояния коры выветривания, мраморов. Гарантировать, что все свежескатившиеся с обнажений обломки пород связаны с только что произошедшим Тункинским землетрясением, твердых оснований нет, поскольку обрывы не покрыты растительностью. По крайне осторожной оценке, в этом районе от воздействия землетрясения обрушилось в сумме с обоих обнажений на левом и правом бортах долины около 180 м³ грунта.

Четвертый район (участок 4), где в значительной степени проявились обвалы, спровоцированные Тункинским землетрясением, находится на левом борту первого со стороны Тункинской впадины крупного левого притока р. Кынгарги (рис.), в 500 м от его устья. Этот участок скального обрыва, протянувшегося с запада на восток на 370 м, его ширина 200 м. Интенсивное сейсмогенное "оживление" склона здесь также не случайно. Непосредственные наблюдения показали, что активизировавшийся участок склона находится в зоне повышенной тектонической раздробленности пород, для которой характерно образование преимущественно плитчатых блоков.

В целом этот очаг сейсмогенной активации экзогенных процессов имеет форму амфитеатра, обрамленного отвесной скальной стеной высотой около 80–100 м. У ее подножия сформировался обвально-осыпной шлейф длиной 100–150 м, крутизной 45°. Трещины, отсекающие плитчатые блоки пород, особенно наглядно выражены на боковых окраинах амфитеатра. Так, на его западной окраине скалистая стенка на всю 70–80-метровую высоту расчленена серией параллельных субвертикальных зияющих трещин, которые отделяют крупные блоки мрамора, отседающие в северном направлении. Плоскости трещин ориентированы с востока на запад, а ширина достигает 1–3 м. Подобные блоки, но меньших размеров, хорошо видны и в восточной части амфитеатра. Здесь наряду с вертикальными трещинами субширотного простирания выделяется еще одна система трещин, подсекающая субвертикальные блоки. Плоскости их наклонены в сторону падения склона под углом 50–55°, что благоприятствует обрушению блоков пород. Именно на восточной окраине амфитеатра образовалось наибольшее число свежих ниш срыва с нависающих участков скального обрыва и сформировался слой свежевынесенного обвального

материала толщиной на разных участках от 0,1 до 1 м, длиной 45 м, шириной от 5 до 17 м, объемом около 420 м³. Более интенсивному разрушению восточной части амфитеатра в значительной степени благоприятствовало и ортогональное направление вектора передачи к ней сейсмической энергии Тункинского землетрясения (рисунок).

На всем остальном пространстве амфитеатра обвалились небольшие порции глыбового материала и отдельные глыбы общим объемом около 148 м³. По пути они также повредили растительность, покрывавшую обвально-осыпной шлейф и днище долины.

Общая сумма обвалившегося грунта в рассматриваемом очаге составила 568 м³. Площадь скальной стенки, с которой обвалился этот материал, – не менее 36000 м². Соответственно денудация этой скальной поверхности вследствие Тункинского землетрясения в среднем равна 15,8 мм. Скальная стена, однако, повсеместно осложнена нишами селективной денудации. Поэтому ее площадь, рассчитанную по топографической карте, можно увеличить по визуальной оценке еще примерно на 30%. Соответственно сейсмогенная денудация от Тункинского землетрясения не превысит 12,1 мм.

Пятый участок (рисунок) – подмытые в основании во время паводков скальные откосы вдоль русла р. Кынгарги и ее притоков, с которых во время Тункинского землетрясения обвалились одиночные глыбы или порции обломков горных пород. По всей длине р. Кынгарги (без основного правого притока, где активизация процессов количественно не учитывалась) таких вывалов насчитывалось около 13, общий объем материала в них всего 45 м³. Как и в предыдущих трех районах, значительно интенсивнее отреагировал на Тункинское землетрясение левый борт долины р. Кынгарги, с которого обвалилось 33 м³, а с правого только 12 м³. Возможно, что правые склоны оказались в какой-то мере изолированными от сотрясения глубокими зонами разломов (своеобразным изоляционным разрыхленным слоем), вдоль которых врезаны русла речных долин.

Особый район, где вначале ожидалась значительная активизация обвалов из-за наличия там высоких отвесных скальных стенок, – кары в верховьях р. Кынгарги и ее притоков. С некоторой долей условности удалось ориентировочно оценить, что здесь во время Тункинского землетрясения могло обрушиться не более 1190 м³ глыбового материала.

На остальной горной части бассейна р. Кынгарги с менее крутыми склонами (25–40°) могли проявиться незаметные на глаз сейсмогенные микроподвижки грунтов.

В целом в бассейне р. Кынгарги Тункинское землетрясение привело в движение не менее 3320 м³ обломочного материала, не считая микроподвижек грунтов и смещений в выбоинах при ударах обрушившихся глыб о землю. Из этого количества к руслу Кынгарги и ее притоков вынесено 331 м³ (10%) продуктов разрушения горных пород. Ближайшим селом они могут быть вынесены из гор во впадину. Если разделить это количество вещества на общую площадь склонов горного участка бассейна р. Кынгарги, равную примерно 40 км², то средняя величина денудационного среза составит 8,3 мкм. Важно иметь в виду, что все это произошло в течение нескольких секунд.

Получается, что буквально за секунды сейсмического воздействия умеренной интенсивности горные породы разрушаются и смещаются на такие величины, для достижения которых в условиях обычной, не сейсмогенной деструкции и сноса потребовались бы годы. Эта сторона деятельности умеренных землетрясений очень важна, она слабо выявлена и еще не учитывалась в теоретических исследованиях и построениях моделей эволюции склонов – чрезвычайно чутких к сейсмозодействиям элементов рельефа.

Заслуживает внимания закономерность асимметричного распределения обвалов грунтовых масс (рисунок). В обследованном речном бассейне на землетрясение интенсивнее среагировали левые (восточные и юго-восточные) борта долин. Это зафиксировано на всех участках, где удалось сравнительно точно определить объемы снесенного во время землетрясения обломочного материала (участки 1, 2, 4, 5 на рисунке). Асимметрию эту вполне правомерно объяснить нахождением источника сейсмической энергии и соответственно подходом сейсмоволны к долине р. Кынгарги с юго-восточной стороны. В результате непосредственному сейсмозолновому удару подверглась вся поверхность левого склона долины. А противоположный правый склон оказался изолированным от его прямого воздействия глубоким эрозийным врезом.

В других долинах, где, к сожалению, не удалось провести подробные исследования, также активизировались склоновые процессы. Осыпание отдельных порций обломков из зон повышенной трещиноватости пород и падение небольших глыб с нависающих уступов скальных склонов наблюдались мною при посещении района долины р. Толты на выходе ее из гор. А жители пос. Тагархай заметили с расстояния около 14 км, что над падью Бурун-Хандагай во время Тункинского землетрясения 1995 г. взвилось облако пыли, что сви-

детельствует об образовании довольно крупного обвала. От эпицентра землетрясения пыльное облако находилось приблизительно в 40 км. Это дает основание полагать, что иногда незначительные по силе сейсмолочки могут служить своеобразными "детонаторами" для срыва значительных по объему неустойчиво залегающих на крутых склонах грунтовых масс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонов Б.П., Кочетков В.М., Филиппов В.М. и др. К вопросу об изучении экзогеодинамических процессов, вызванных умеренным сейсмическим воздействием // Сейсмические свойства грунтов. М.: Наука, 1995. С. 98–104.
2. Львов А., Кропачев Г. Краткий отчет о результатах исследования "Аршана", проведенного по поручению Восточно-Сибирского Отдела Географического общества и Общества врачей // Изв. Вост.-Сиб. Отдела Императ. Русск. географ. об-ва. Изд-е распоряжит. Ком-та Отдела. Иркутск: Типогр. Иркутск. Товар-ва печатн. дела, 1910. Т. 40. С. 41–77.
3. Уфимцев Г.Ф. Геоморфологические экскурсии в Прибайкалье. Тункинская долина. Иркутск: Изд-во Иркутск. ун-та, 1991. 42 с.
4. Иверонова М.И. Опыт количественного анализа процессов современной денудации // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1969. № 2. С. 13–24.
5. Раиба И.Н. Денудация склонов в гольцовом пояса Западного Саяна // Процессы современного рельефообразования в Сибири. Иркутск: Ин-т географ. Сиб. и Д.В., 1978. С. 69–86.
6. Хрисанов В.А. Масштабы современной денудации Кавказа // Геоморфология. 1979. № 4. С. 81–85.

ИЗК СО РАН, Иркутск

Поступила в редакцию
23.09.97

SLOPE DENUDATION UNDER MODERATE SEISMIC IMPACT (TUNKIN EARTHQUAKE IN 1995 AS AN EXAMPLE)

B.P. AGAFONOV

S u m m a r y

Quantitative estimation of seismogenic denudation is a relatively new problem, which is on initial stage of its development. It was firstly shown in this work (for the Tunka earthquake, June 30, 1995) that earthquake of moderate intensity (force 6) causes the denudation of the slopes in the vicinity of active faults. Seismo-gravitational processes remove from the surface the layer up to 12–13 mm in thickness. This denudation occurs during few seconds of seismic event, while the same effect due to normal processes would take years.