

Б.П. Вазенин

(Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН;
e-mail: vazhenin.bp@mail.ru)

О МИНИМАЛЬНОЙ СИЛЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ВЫЗЫВАЮЩЕЙ СЕЙСМОДЕФОРМАЦИИ

На примере Дукчинского землетрясения 2009 г. в Приморском крае показана вероятность возникновения сейсмодислокаций горных пород и объектов техносферы при слабых сейсмических воздействиях (с магнитудой – 4,7).

Ключевые слова: ландшафтные аномалии, сейсмодислокации, обвалы, оползни, сходы, расщелины.

B.P. Vazhenin

THE MINIMUM EARTHQUAKE ENERGY TO PRODUCE SEISMIC DEFORMATIONS

On example of Dukcha earthquake, event in Magadan area in 2009, the probability of seismic deformations of rocks and industrial facilities even in case of weak seismic effects (with magnitude 4,7) was shown.

Key words: landscape anomalous features, seismic dislocations, rock fall, land slide, fault, gully.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 17 марта 2015 г.

Введение

Считается, что сейсмодислокации – гравитационные и тектонические деформации рельефа и горных пород – возникают лишь при самых сильных землетрясениях с магнитудой около 5-6,5 и более. Это мнение основано на изучении последствий множества современных разрушительных землетрясений. В частности, оно отражено в структуре формул для вычисления магнитуды древних землетрясений по палеосейсмодислокациям, авторы и пользователи которых: Д. Точер, К. Иида, Н.В. Шебалин, А.А. Никонов [1], Дж. Адамс [2], В.П. Солоненко [3], В.С. Хромовских [3], М. Бонилла, Р. Марк, Ю.В. Ризниченко, С.Д. Хилько. Эти формулы построены однотипно и в обобщенном виде выглядят следующим образом: $M = C + k \lg L$ (или S); где M – магнитуда; C – некая постоянная величина, изменяющаяся в разных формулах от 4,88 до 6,3; $\lg L$ (или S) – десятичный логарифм длины сейсмогенной зоны разломов, в км (или площади плейстосейстовой области, в км²); k – коэффициент, изменяющийся в разных формулах от 0,53 до 1,3. Наличие в них константы (C), которая составляет обычно большую часть определяемого значения магнитуды, объясняется эмпирически установленным фактом формирования сейсмодислокаций при достижении землетрясениями порогового значения магнитуды – 4,88.

С 2001 г. по 2013 г. в окрестностях г. Магадан – на удалении от него до 230 км – произошло 11 землетрясений с магнитудой от 4,2 до 5,4 (рис. 1). Два ближайших из них – с очагами на глубине около 10 км – зарегистрированы на расстоянии до 25 км от центра города. Первое – 3(4) ноября 2004 г. с эпицентром в море южнее Магадана имело магнитуду 4,2, второе – 26(27) декабря 2009 г. с эпицентром, в Дукчинских горах, было немного сильнее – $M = 4,7$. Эти землетрясения напугали магаданцев, но не причинили заметного ущерба – даже в ближайшем к эпицентру 2009 г. поселке Снежная Долина. Несмотря на умеренную силу Дукчинского землетрясения, оно вызвало интересные последствия, отразившиеся в ландшафте Дукчинских гор.



Рис. 1. Эпицентры землетрясений Примагаданья за период 2001-2013 гг., по данным из слоя "Землетрясения" интернет-сервиса Google Earth:
 M – магнитуда; H – глубина очага землетрясения

Голоценовый рой палеосейсмодислокаций Дукча и новообразованные ландшафтные аномалии

При просмотре автором серии крупномасштабных космоснимков (с пространственным разрешением около 1 м) интернет-сервиса Google Earth, выполненных после 5 июля 2010 г., в Дукчинских горах (в 15 км к северу от центра г. Магадан) обнаружены ландшафтные аномалии, которые не были выявлены ранее (рис. 2).

Причем эта территория тщательно изучалась в 1990-х годах по космо-, аэроснимкам и полевыми маршрутами в связи с обнаружением там крупных голоценовых палеосейсмодислокаций роя Дукча [4, 5], что и позволило обратить внимание на неизвестные новые аномальные ландшафтные образования.

Ранее там было закартировано 10 крупных древних скальных обвалов и оползней объёмами от 1 до 37 млн м³, пространственно и, очевидно, генетически связанных с системой разрывных нарушений, выделяющихся резкостью облика на фоне существенно сглаженного рельефа вершинных поверхностей и склонов. Обнаружено также свыше десятка мелких обвалов и оползней объёмами менее 1 млн м³. Разрывные нарушения большей частью имеют вид трещин без видимого смещения по ним, а также сбросовых уступов и реже – расщелин. По величине площади роя палеосейсмодислокаций Дукча (156 км²) вычислена – по формуле Дж. Адамса [2]: $M = 0,5 \lg S + 5,9$ – магнитуда древнего землетрясения, равная 7,0.

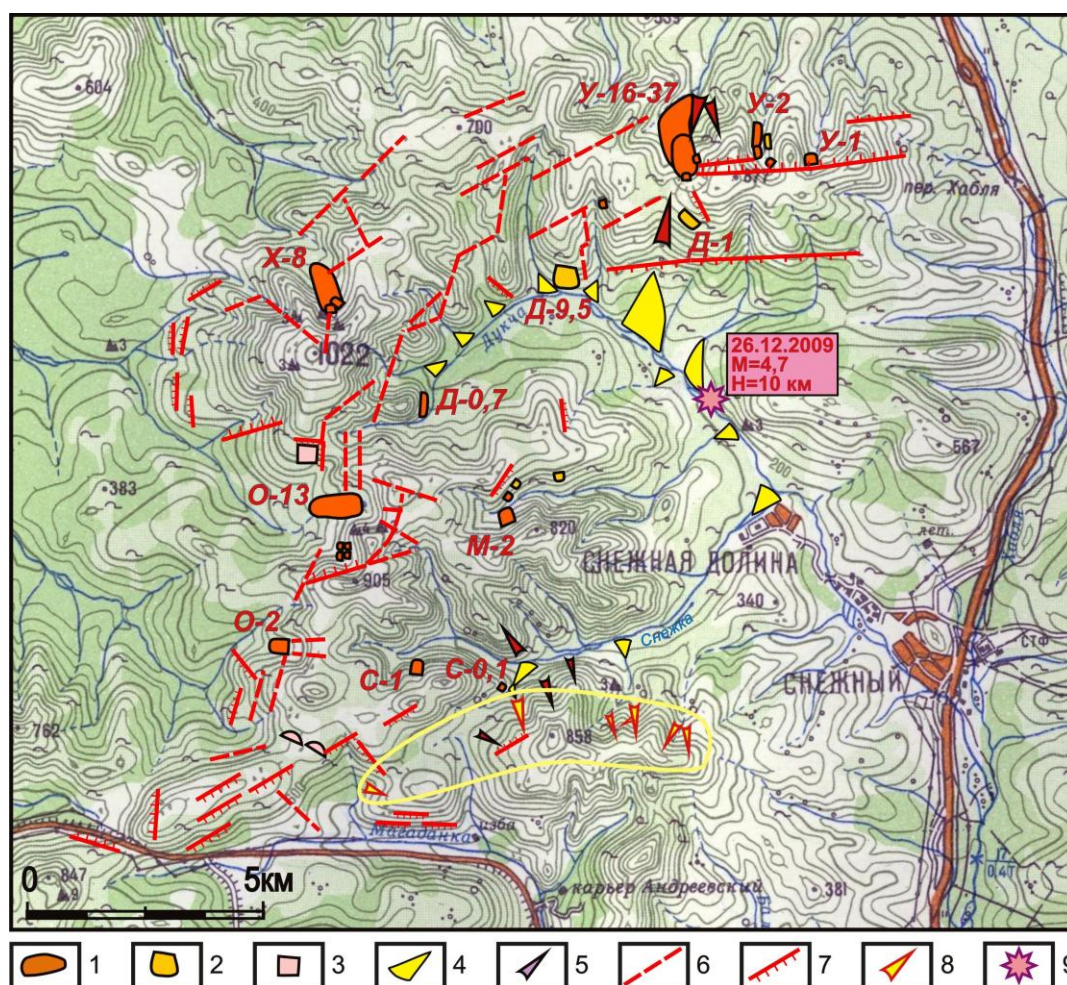


Рис. 2. Голоценовые и современные сейсмодислокации в Дукчинских горах:

1 – крупные (в данном случае, объёмами $\geq 0,1$ млн м³) скальные обвалы; 2 – скальные оползни; 3 – блоковые просадки земной коры; 4 – пролювиально-селевые конусы выноса; 5 – расщелины; 6 – трещины без видимого смещения по ним, выделяющиеся резкостью на фоне сглаженного рельефа водоразделов и склонов; 7 – хорошо выраженные в рельефе сбросовые уступы; 8 – каменные лавины, имеющие в мелком масштабе вид светлых ландшафтных аномалий (окоптурены желтой линией), возникшие в период между 14 августа 2009 г. и 5 июля 2010 г.; 9 – инструментально зарегистрированный эпицентр Дукчинского землетрясения 2009 г. с его основными параметрами. В индексации древних обвалов и оползней числа означают их объёмы в млн м³, а буквы: **У, Х, Д, О, М, С** – их названия – Уптар, Хасын, Дукча, Омчак, Медвежка, Снежка, соответственно

Ландшафтные аномалии, выявленные на материалах космосъемки от 5 июля 2010 г. присутствуют и на серии более поздних снимков юга Дукчинских гор – вплоть до 23 сентября 2014 г. Но их нет на всех более ранних снимках – с 14 и 19 (для разных участков территории) августа 2009 г.

Аномалии на космоснимках в мелком масштабе имеют вид роя из семи протяженных – длиной до 1 км и более – светлых полос шириной от первых метров до 46 м. Они расположены преимущественно по тальвегам низкопорядковых долин и хорошо заметны на фоне залесённых склонов. Большая часть этих долин длиной от одного до пяти километров находится на правом берегу р. Дукча, ручьев Снежка¹, Перевальный² (рис. 3), а ещё одна – в верховьях р. Магаданка (рис. 4).

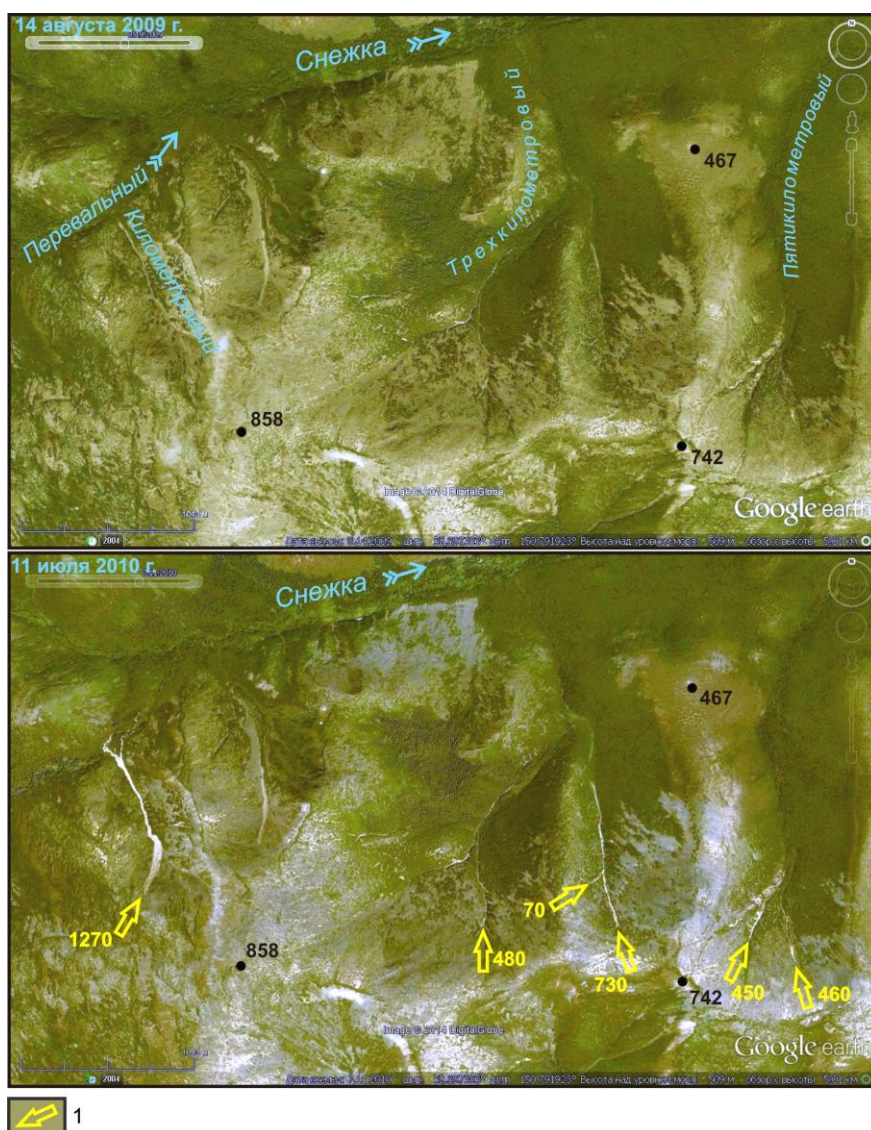


Рис. 3. Группа ландшафтных аномалий (указаны стрелками на нижнем космоснимке от 11 июля 2010 г.) на правом берегу руч. Снежка (прит. р. Дукча в Дукчинских горах).

На верхнем снимке от 14 августа 2009 г. их нет. 1 – вершины глыбовых лавин по формирующимся расщелинам и их длина в метрах

¹ Бытующее неофициальное название.

² Название этого и других ручьев – Километровый, Трёхкилометровый, Пятикилометровый и Перевальный – вводятся здесь впервые для безымянных водотоков.

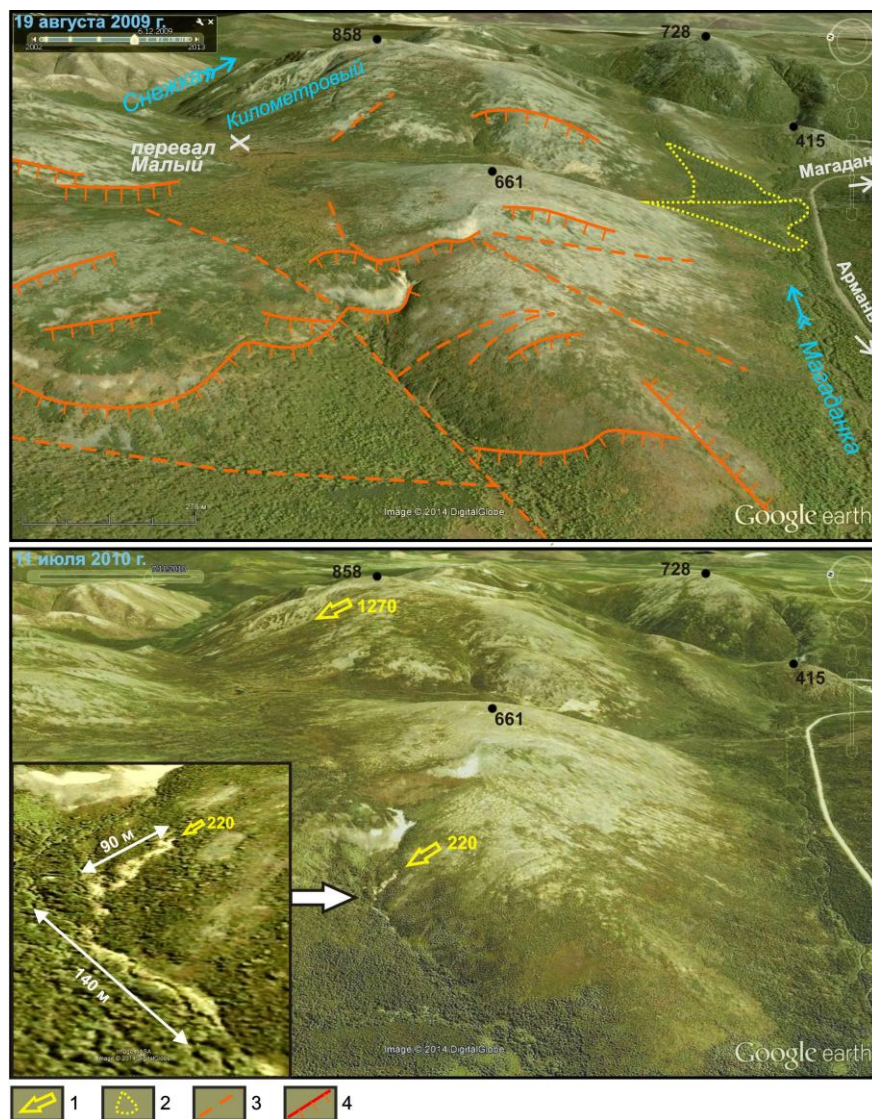


Рис. 4. Самая западная из роя каменных лавин возникла в бас. р. Магаданка на южной периферии голоценового роя палеосейсмодислокаций Дукча:

- 1 – вершины глыбовых лавин по сейсмостектоническим трещинам и их длина в метрах;
- 2 – контуры пролювиально-селевых конусов выноса; 3 – разломы, выраженные в рельефе, без видимого смещения по ним; 4 – сбросовые уступы

Только одна из этих аномалий длиной 1270 м занимает почти весь тальвег и крутой склон короткой долинки руч. Километровый, устьевой конус выноса и выходит за его пределы (рис. 5-7). Она представляет собой довольно крупную обвальную каменную лавину, сорвавшуюся с крутого коренного склона. В её вершине чётко выделяется продолговатая ниша отрыва длиной 125 м и шириной 35 м. Линейность ниши определяется заложением её по зоне дробления в коренных гранитоидах Магаданского батолита – вдоль трещины, прежде слабо выраженной в рельефе крутого склона (рис. 6). Она имеет вид неглубокой (в первые метры) рытвины, которая после весьма вероятного в будущем выноса из неё сейсмостектонически дробленных горных пород может трансформироваться в расщелину. Ниже располагается участок транзита с частичной

аккумуляцией глыб на изломе тальвега перед сужением лавины с 46 до 12 м, продолжающемся до конуса выноса. На его вершине начинается область аккумуляции, где лавина расширяется до 32 м (рис. 7). Часть обломочного материала пронеслась по боковым радиусам конуса выноса руч. Километровый и даже достигла вершины конуса выноса руч. Перевальный, который при этом был кратковременно подпружен, но вскоре лавинную преграду пересекло новое спрямленное русло ручья.

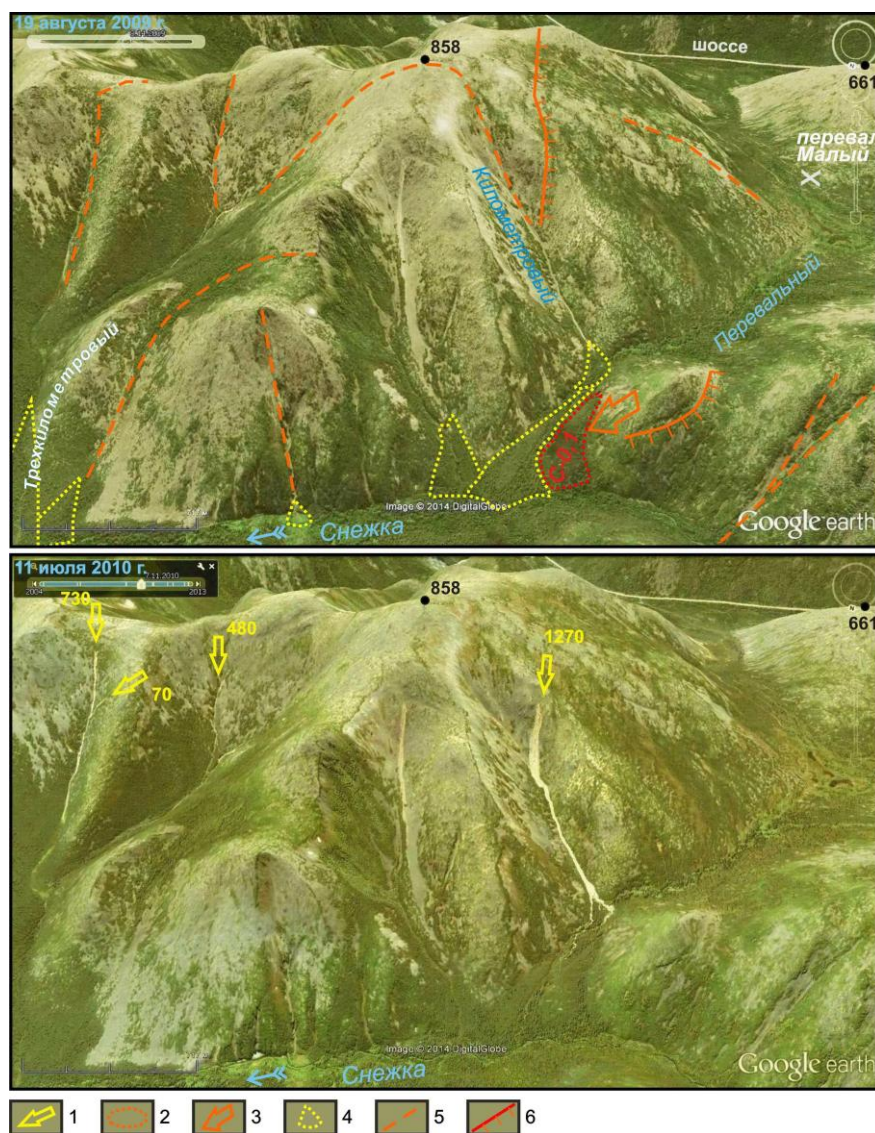


Рис. 5. Западный фланг основной группы ландшафтных аномалий – той, что и на рис. 3:
 1 – вершины глыбовых лавин по сейсмотектоническим трещинам, трансформирующимся в расщелины (за счет вывала из них обломочного материала) и их длина в метрах;
 2 – контур палеосейсмообвала Снежка-0,1 объёмом 100 тыс. м³; 3 – трасса смещения обвала;
 4 – контуры пролювиально-селевых конусов выноса; 5 – разломы, выраженные в рельефе, без видимого смещения по ним; 6 – сбросовые уступы

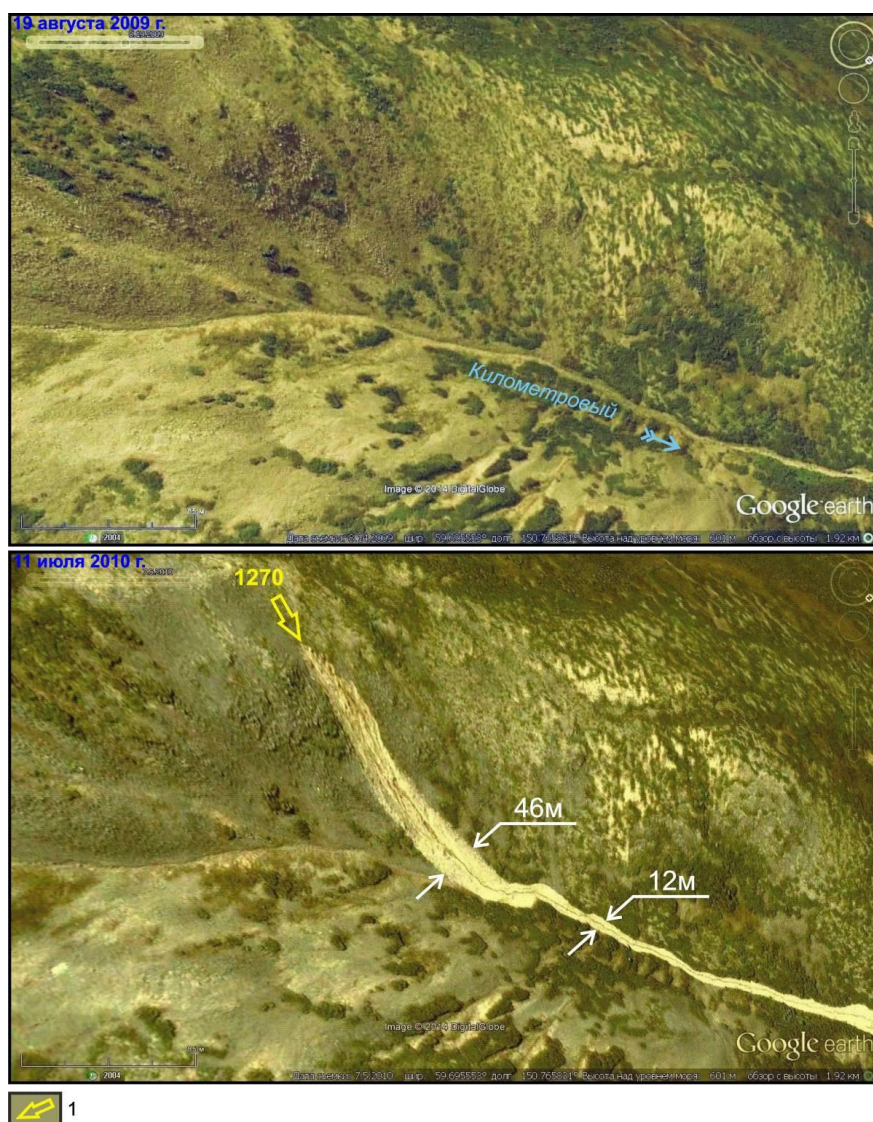


Рис. 6. Ниша отрыва в виде рытвины, из которой сошла каменная лавина длиной 1270 м в истоке руч. Километровый. Ниша отрыва заложилась по едва заметной трещине в левом борту долины ручья:
1 – вершина глыбовой лавины и её общая (вместе с нишей отрыва) длина в метрах

В водоразделе рр. Магаданка, Дукча и руч. Снежка, как уже отмечалось, за почти 11-месячный период между 14 августа 2009 г. и 5 июля 2010 г. возникло еще шесть таких же, по сути, хотя и меньших по длине и ширине, каменных лавин (рис. 4, 8). Также угадывается их заложение не по новообразованным, а, скорее, по подновленным землетрясением трещинам.

Одна из этих лавин длиной 730 м – в правом отвершке руч. Трёхкилометровый – имеет ширину от первых метров до 12-16 м. Другие выглядят менее внушительно, но явно видны на космоснимках 2010 г. и только местами – "пунктирно" – просматриваются на снимках 2009 г. Это подтверждает то, что трещины по тальвегам уже существовали, но резко подновились землетрясением 2009 г. – с одновременным образованием каменных лавин.

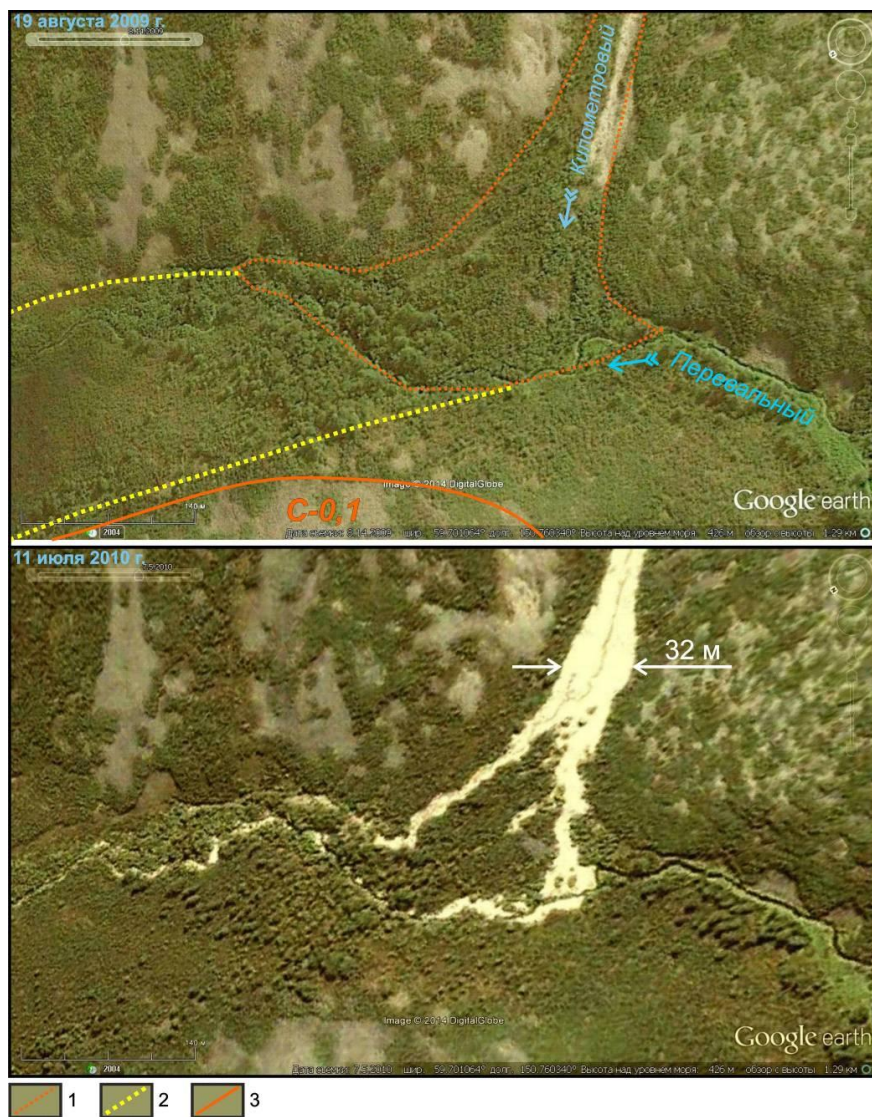


Рис. 7. Фронтальная часть глыбовой лавины длиной 1270 м, сошедшей по сейсмостектонической трещине в истоке руч. Километровый:
 1 – контур пролювиально-селевого конуса выноса руч. Километровый;
 2 – контур пролювиально-селевого конуса выноса руч. Перевальный;
 3 – контур палеосейсмообвала Снежка-0,1

Охарактеризованный компактный рой из семи глыбовых лавин, сошедших по подновленным землетрясением тектоническим трещинам, целиком расположен в пределах участка размером $6,6 \times 2$ км, ничем не выделяющегося на фоне окрестных гор: ни высотой, ни крутизной склонов, ни геологическим строением, ни тектонической раздробленностью (рис. 2, 4). Единственная особенность его заключается в том, что он находится на южной периферии роя палеосейсмодислокаций Дукча, занимающего большую часть Дукчинских гор. От середины нового роя до инструментально определенного (по данным

из слоя "Землетрясения" Google Earth³, рис. 2) эпицентра Дукчинского землетрясения 26 (27) декабря 2009 г. – в верховье долины р. Дукча – всего 7,4 км. В непосредственной близости от этого эпицентра никаких новообразованных сейсмодислокаций нет, из чего следует, что его истинное положение, все-таки, совпадает с описываемым новым роением каменных лавин. А инструментальное вычисление места эпицентра выполнено в пределах допуска по точности метода – около ± 15 км.

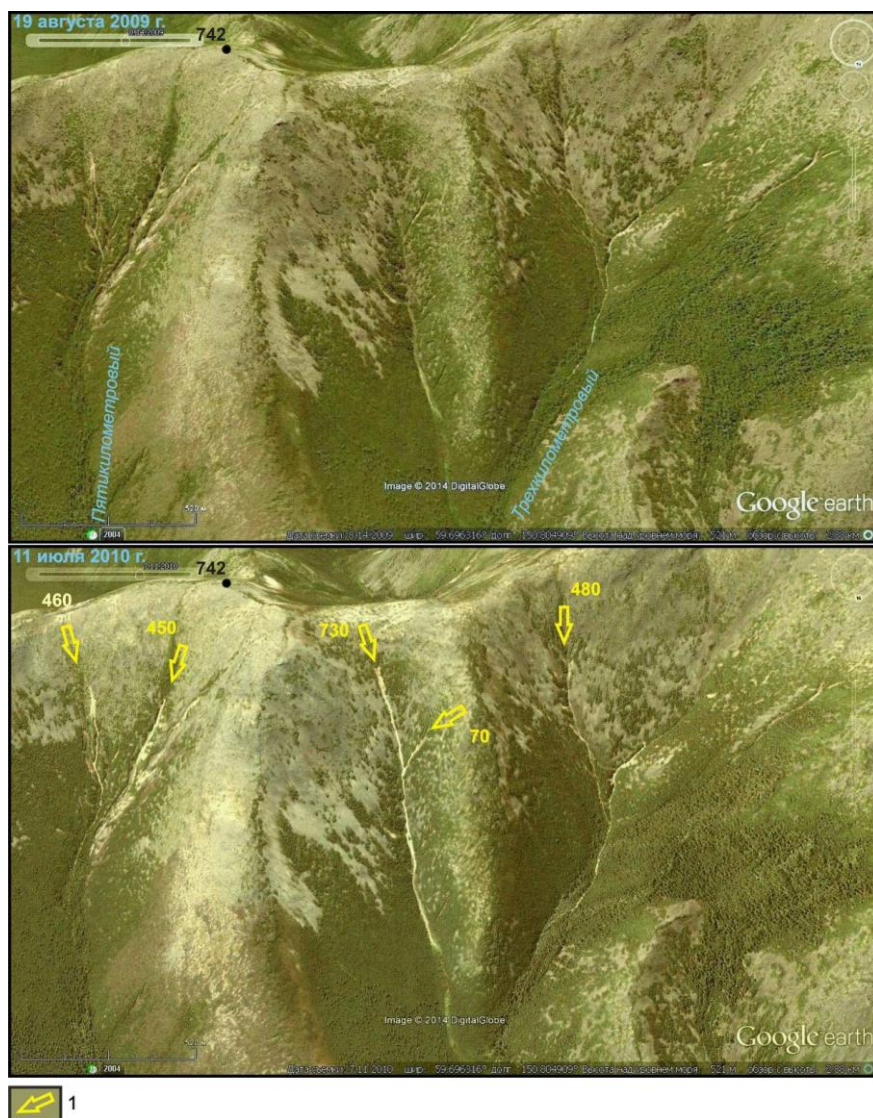


Рис. 8. Глыбовые лавины в верховьях долин ручьев Трехкилометровый и Пятикилометровый. 1 – вершины глыбовых лавин и их длина в метрах

³ По сведениям из слоя «Wikimapia» интернет-сервиса SASPlanet эпицентр этого землетрясения находился много дальше – на р. Танон (прит. р. Ола) при слиянии рр. Ланкучан и Сердых – в 25 км к востоку от роя каменных лавин.

Выводы

Едва ли случайны совпадения в пространстве и времени таких значимых явлений, как:

- размещение компактного роя каменных лавин неподалёку от инструментально определенного эпицентра землетрясения 2009 г.;
- попадание дат как Дукчинского землетрясения, так и возникновения каменных лавин (со всеми признаками сейсмодислокаций) в "вилку" между датами космосьёмки 14 августа 2009 г. и 5 июля 2010 г.

Следовательно, этот рой с высокой вероятностью можно интерпретировать в качестве серии гравитационных (каменные лавины) и тектонических (трещины) сейсмодислокаций Дукчинского землетрясения 26 (27) декабря 2009 г. Действия иных агентов рельефообразования для создания столь крупных деформаций рельефа, например, экстремальных (хотя бы, таких, как летом 2014 г., да еще и фантастически локальных) ливней, за 11 месяцев не наблюдалось. Более того, 8 из них пришлось на снежную зиму. Снег, очевидно, сыграл роль смазки, удлинив путь транзита глыб.

Вычисление магнитуды (при площади роя $13,2 \text{ км}^2$) по формуле Дж. Адамса дало величину – 6,5, что существенно больше определенной инструментально – 4,7. Даже если принять волевое решение о снижении константы в этой формуле с 5,9 до минимума по прецеденту (в других аналогичных формулах) – 4,88, то и в этом случае магнитуда получится великоватой, в сравнении с инструментальной – 5,44. Остается либо признать инструментальное определение заниженным, либо считать, что сейсмодислокации могут возникать и при магнитудах около 4,7, например, из-за повышенной в некоторых местах величины обвального потенциала [5, 6], которая, вероятно, была в Дукчинских горах перед землетрясением 2009 г., очаг которого не просто находился на глубине около 10 км, а и, скорей всего, достиг поверхности Земли. Второй вариант интерпретации выглядит предпочтительней.

Получается, что и такие – не самые сильные – землетрясения, как Дукчинское 2009 г., но, всё же, способные создавать сейсмодислокации, несомненно, могут разрушительно воздействовать и на объекты техносферы.

Литература

1. **Никонов А.А.** Определение магнитуд и повторяемости землетрясений прошлого по сейсмодислокациям (на примере зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня) // ДАН СССР, 1980. Т. 250. № 2. С. 336-341.
2. **Adams J.** Earthquake-dammen lake in New Zealand // Geology, 1981. Vol. 9. P. 215-219.
3. **Современная** динамика литосферы континентов. Методы изучения / Под ред. Н.А. Логачева, В.С. Хромовских. М.: Недра, 1989. 287 с.
4. **Важенин Б.П.** Палеосейсмодислокации в Примагаданье // Сейсмологические и петрофизические исследования на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1992. С. 102-120.
5. **Важенин Б.П.** Принципы, методы и результаты палеосейсмогеологических исследований на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. 205 с.
6. **Важенин Б.П.** Обвальный потенциал гор // Рельеф и экзогенные процессы гор: мат. всероссийской научной конференции, с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения доктора географических наук, профессора Л.Н. Ивановского. Иркутск: изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. Т.1. С. 24-27.