

**СКОВОРОДИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 14 октября 2011 г. с $M_w=6.0$, $I_0=8$:
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ**

**А.Н. Овсюченко, А.В. Мараханов, Р.Н. Вакарчук, А.С. Ларьков,
С.С. Новиков, Е.А. Рогожин**

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия, ovs@ifz.ru

14 октября 2011 г. в 06^h10^m UTC (16^h10^m по местному времени) в Сквородинском районе Амурской области произошло землетрясение с магнитудой $M_w=6.0$ [1]. Землетрясение ощущалось на большой территории, но основные разрушения произошли в нескольких населенных пунктах в округе и самом г. Сквородино. Исследования последствий этого события проведены авторами по двум направлениям – макросейсмическому и сейсмогеологическому [2]. Они были начаты с момента землетрясения, так как во время главного толчка Сеймотектонический отряд ИФЗ РАН находился примерно в 80 км к северу от эпицентра, в районе пос. Джелтулак. В районе землетрясения уже работала временная сейсмическая сеть, развернутая в конце июля 2011 г. Сейсмологическим отрядом ИФЗ РАН [3], что сильно упростило поиск эпицентральной зоны. Однако окончательные решения эпицентров главного толчка и афтершоков появились значительно позже завершения полевых исследований.

Это землетрясение стало сильнейшим за всю историю наблюдений в Тукурингра-Джагдинской сейсмической зоне. Исследования последствий этого события представляются особенно важными с точки зрения дальнейших работ по оценке сейсмической опасности в данном регионе. Здесь, впервые для рассматриваемой сейсмической зоны, удалось получить детальные сведения о распределении сотрясений в ближней зоне.

Результаты макросейсмических исследований. Сведения о макросейсмическом эффекте в населенных пунктах собраны путем опроса людей и заполнения опросных листов в соответствии с параметрами шкалы MSK-64 [4]. Кроме того, проводилось изучение, описание и, по возможности, фотографирование повреждений построек и сооружений, возникших в результате землетрясения во всех населенных пунктах, где проводился опрос. При обследовании основное внимание уделялось населенным пунктам, расположенным в непосредственной близости от эпицентра.

Ближе всего к эпицентру землетрясения оказались *поселки БАМ и Солнечный*. В *пос. БАМ* ($I_i=7-8$ баллов, по данным [5] – 7 баллов) в кирпичном здании администрации поселка произошло выпадение кусков штукатурки размером до 1 м и образование трещин на стыках кладки и бетонных плит шириной до 1–2 см (рис. 1 а). В зданиях котельной и водозабора произошло сильное растрескивание кирпичной кладки, образовались трещины на стыках кладки и бетонных плит, а также сквозные трещины (шириной до 2–3 см) в углах здания со смещениями до 2–4 см и выпадением больших (до 1 м) кусков штукатурки и фрагментов кладки (рис. 1 б). В здании пусковой подстанции РЖД образовались проникающие трещины на стыке панелей, сквозные трещины со смещением по углам здания шириной до 2 см, выпали небольшие (до 10–15 см) куски штукатурки, произошло сдвигание на 3–5 см аккумуляторных батарей, стоящих на подставках, а также частичное разрушение сооружений подстанции, повлекшее серьезную аварию с коротким замыканием и пожаром (рис. 1 в).

В *пос. Солнечный* ($I_i=7$ баллов) многие жители выбежали на улицу, все слышали гул, некоторые люди говорили, что им показалось, будто бы в их дом врезался грузовой автомобиль или на дом упало дерево, кто-то с трудом устоял на ногах. В домах раскачивались висячие предметы, падали с полок незакрепленные предметы, посуда дребезжала, иногда падала и разбивалась, мебель скрипела и качалась, оконные стекла дребезжали, в редких случаях трескались, раскачивались деревья. Произошли средние и малые повреждения печей и печных труб – от различной степени растрескивания и выпадения штукатурки до полного разрушения

дымоходов и частичного разрушения печей с глубокими зияющими трещинами и выпадением кирпичей. В отдельных случаях, по словам очевидцев, печи и трубы как бы «закручивались» по спирали. В домах образовались глубокие (шириной до 2–3 см) трещины с выпадением крупных (более 15 см) кусков штукатурки.

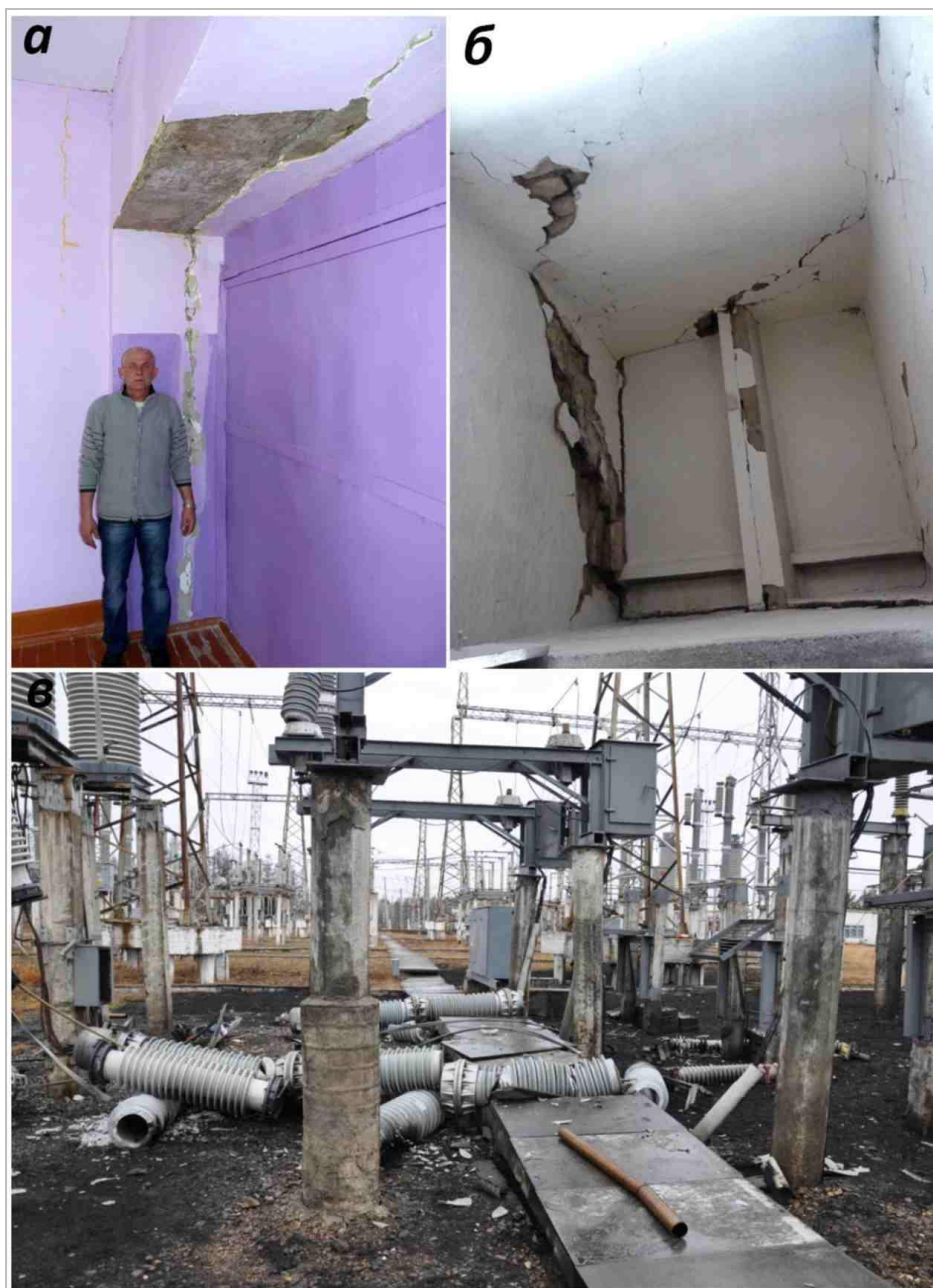


Рис. 1. Повреждения в пос. БАМ

а – трещины и выпадение крупных кусков штукатурки в здании администрации; б – сквозные трещины в углу здания водозабора; в – частичное разрушение сооружений пусковой подстанции РЖД, повлекшее серьезную аварию с коротким замыканием и пожаром.

В пос. *Тахтамыгда* ($I_7=6-7$ баллов) спящие люди просыпались, некоторые реагировали очень спокойно и не покидали домов. Посуда дребезжала, но не разбивалась, так же как оконные стекла; некоторые предметы сдвигались, падали с полок, висячие предметы раскачивались. В зданиях образовались небольшие трещины, наблюдалось выпадение довольно крупных кусков штукатурки, образование трещин в печах и дымоходах. В старых и ветхих зданиях школы и дома культуры отмечены глубокие зияющие и сквозные трещины, массовое выпадение штукатурки и кафельной плитки.

В г. *Сковородино* ($I_i=6$ баллов, по данным [5] – 6–7 баллов) во время землетрясения некоторые предметы сдвигались и падали с полок, всяческие предметы раскачивались, мебель скрипела, иногда двигалась, отмечалось самопроизвольное открывание дверей, дребезжала, но редко разбивалась посуда, так же как и оконные стекла. В старом кирпичном здании котельной обрушилась стена, в редких случаях в домах частично разрушились дымоходы, главным же образом наблюдались волосяные и мелкие трещины, а также выпадение маленьких кусков штукатурки в кирпичных и панельных зданиях. На нефтепроводе ВСТО пострадало электрооборудование.

Эффекты с интенсивностью $I_i=6$ баллов также наблюдались на *разъезде Штурм и в пос. Невер*, где наблюдалось повреждение печей и труб, растрескивание штукатурки, в редких случаях выпадали стекла из окон, качалась и иногда падала мебель, падала и разбивалась посуда, произошло помутнение и побеление воды в местном водозаборе. Кроме того, в *пос. Мадалан*, где некоторые люди слышали гул и треск, оконные стекла дребезжали и трескались, всяческие предметы раскачивались и падали, посуда дребезжала, незакрепленные предметы на полках сдвигались и падали, мебель скрипела и сдвигалась, а в отдельных случаях самопроизвольно открывались и закрывались двери. В кирпичных зданиях отмечены небольшие трещины, произошло выпадение довольно крупных кусков штукатурки, образовались трещины в печах и дымоходах.

С меньшей интенсивностью ($I_i=4-5$ баллов) землетрясение ощущалось в *пос. Соловьевск*, где дребезжали оконные стекла и посуда, раскачивались всяческие предметы, сдвигались и иногда падали незакрепленные предметы на полках, скрипела и качалась мебель, в отдельных случаях самопроизвольно открывались и закрывались двери. В зданиях отмечаются отдельные повреждения, представленные нитевидными и мелкими трещинами, а также выпадением маленьких кусков штукатурки. Возникли небольшие перекосы конструкций в некоторых деревянных зданиях. Аналогичные эффекты наблюдались в *пос. Янкан*.

Результаты сейсмогеологических исследований. Наблюдений в населенных пунктах было явно недостаточно для восстановления картины сотрясений в ближней зоне, в связи с чем параллельно с макросейсмическими проводились сейсмогеологические исследования. Основное внимание уделялось поиску следов сейсмических сотрясений в природной среде. Руководством по оценке интенсивности послужила шкала EEE (Earthquake environmental effects), разработанная в рамках проекта международной геологической организации International Quaternary (INQUA) и после незначительной доработки получившая название ESI-2007 (Environmental seismic intensity) [6–8]. В шкале ESI-2007 интенсивность определяется по параметрам сеймотектонических разрывов, размерам и общей площади распространения вторичных эффектов (включая объем для оползней и обвалов, длину, ширину, плотность для трещин и т.д.). Результаты тестирования показывают, что шкала ESI-2007 удовлетворительно коррелирует с традиционными шкалами, а их совместное использование позволяет восстановить гораздо более детальную картину сотрясений [9]. В то же время очевидно, что результаты, получаемые при использовании шкалы ESI-2007, сильно зависимы от разнообразия природных условий. В связи с этим особое внимание было уделено геолого-геоморфологическим условиям образования выявляемых нарушений.

Полевые сейсмогеологические исследования были начаты 18 октября 2011 г. В момент землетрясения уже произошло оформление постоянного мерзлого слоя мощностью в первые десятки сантиметров (за исключением обводненных прирусловых участков), толщина которого увеличивалась с каждым днем, однако реки еще полностью не замерзли. Постоянный снежный покров образовался 1 ноября, закрыв все следы землетрясения, в связи с чем полевые сейсмогеологические исследования были прекращены.

Обнаруженные эффекты землетрясения имеют исключительно вторичный характер и представлены сейсмогравитационными и сеймовибрационными образованиями (рис. 2). К первым относятся обвалы, камнепады, трещины отседания (отпора), наблюдаемые в местах резкого перегиба склона, и редкие оплывины склонового чехла. К сеймовибрационным эффектам землетрясения можно отнести в первую очередь следы выбросов, излияния и выдавливания обводненного песка из трещин на речных косах (грифоны), а также трещины встраивания на ровных поверхностях, сложенных рыхлыми грунтами.

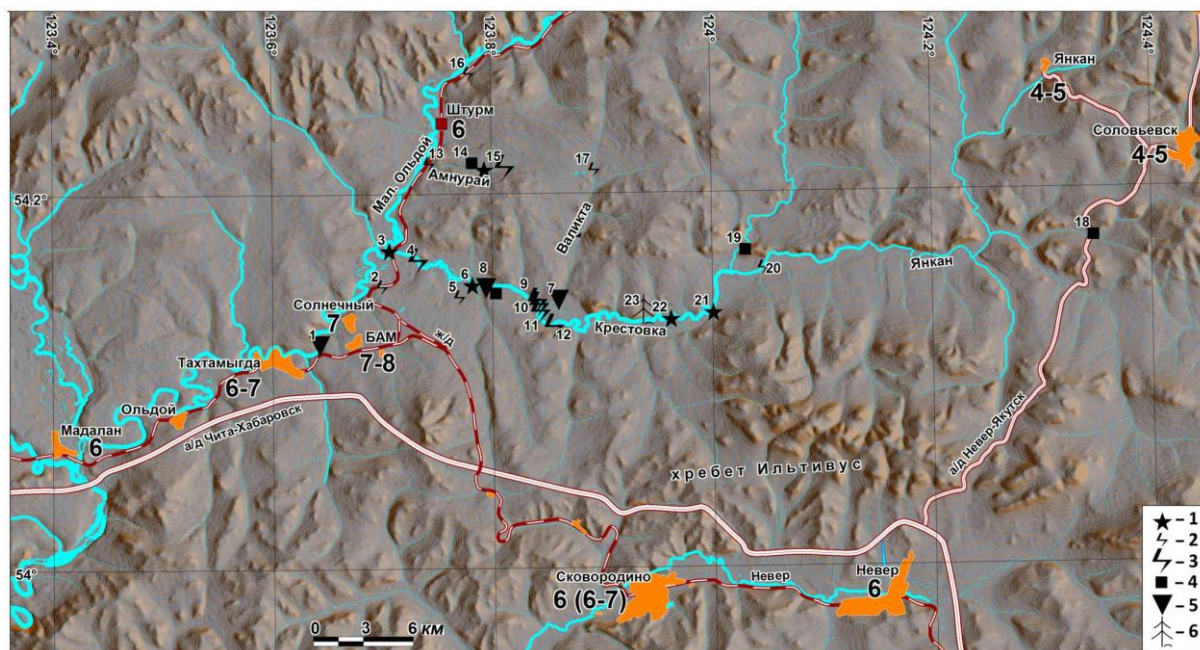


Рис. 2. Карта макросейсмических проявлений и сейсмодислокаций землетрясения 14 октября 2011 г. с $M_w=6.0$ (интенсивность в населенных пунктах показана крупными цифрами)

1 – сейсмиковибрационные трещины со следами излияния, выброса и выдавливания обводненного песка (грифоны); 2 – небольшие сейсмиковибрационные трещины (длиной менее 1.5 м); 3 – крупные сейсмиковибрационные трещины (длиной более 1.5 м); 4 – камнепады (отдельные скатившиеся камни); 5 – обвалы; 6 – лесоповал. Номера нарушений соответствуют номерам точек наблюдения (Т.) в таблице 1 и тексте.

Таблица 1. Сводные макросейсмические данные о ближней зоне Сковородинского землетрясения 14 октября 2011 г. (расстояния Δ даны от инструментального эпицентра – $\varphi=54.109$ N, $\lambda=123.835$ E [3])

Точка наблюдения (Т.), населенный пункт	Название	φ° . N	λ° . E	Δ , км	Балльность I_i
5	сейсмогравитационные трещины	54.144	123.770	5.8	(8)
6	сейсмиковибрационные трещины	54.151	123.781	5.8	(8)
7	обвал и трещины в скальных грунтах	54.143	123.860	4.6	8
8	обвалы	54.149	123.794	5.2	(8)
9	сейсмиковибрационные трещины	54.142	123.841	3.8	(8)
10	сейсмиковибрационные трещины	54.138	123.842	3.3	(8)
11	сейсмиковибрационные трещины	54.137	123.844	3.2	(8)
12	сейсмиковибрационные трещины. обвалы	54.130	123.854	2.7	(8)
23	лесоповал	54.136	123.937	7.4	(8)
22	сейсмиковибрационные трещины	54.132	123.962	8.7	(8)
21	сейсмиковибрационные трещины	54.136	124.000	11.3	7
20	сейсмиковибрационные трещины	54.159	124.046	15	7
19	камнепады	54.169	124.030	14.4	7
4	сейсмиковибрационные трещины	54.163	123.732	9	7
3	сейсмиковибрационные трещины	54.169	123.706	11	7
2	сейсмогравитационные трещины	54.150	123.699	10	7
1	обвал	54.119	123.642	12	(7)
15	сейсмиковибрационные трещины	54.214	123.812	12	7
14	камнепады	54.216	123.782	12.5	7
13	сейсмогравитационные трещины	54.215	123.743	13	7
17	сейсмогравитационные трещины	54.212	123.893	12	(7)
16	сейсмиковибрационные трещины	54.263	123.780	18	6
18	камнепады	54.174	124.347	34	6
БАМ		54.121	123.675	10	7–8
Солнечный		54.132	123.670	11	7

Точка наблюдения (Т.), населенный пункт	Название	φ°. N	λ°. E	Δ. км	Балльность I_1
Тахтамыгда		54.110	123.603	15	6–7
Сковородино		53.984	123.938	15	6 (6–7)
Разъезд Штурм		54.237	123.755	15	6
Невер		53.978	124.148	25	6
Мадалан		54.065	123.406	28	6
Янкан		54.264	124.306	35	4–5
Соловьевск		54.217	124.432	41	4–5

Примечание: для эффектов в природной среде (точки наблюдения) в скобках показана оценка интенсивности сотрясений I_1 по совокупности объектов.

Общая площадь проявления вторичных эффектов, наилучшим образом согласующаяся с интенсивностью [6], составила примерно 250–270 км², что отвечает $I_0=8$ баллов. Максимальные эффекты, которые можно отнести к интенсивности $I_{\max}=8$ баллов, наблюдались в долине р. Крестовка на участке длиной около 15 км. По мере продвижения от устья реки на восток, плотность, размеры и разнообразие генетических типов нарушений постепенно увеличиваются при неизменности природных условий, достигая максимума в районе устья р. Валикта, что послужило основанием для выделения 8-балльного участка. Далее на восток они уменьшаются, сходя на нет к востоку от устья р. Янкан. Ниже приводится краткое описание отдельных точек.

Т. 6 – расположена в 5.3 км выше от устья р. Крестовка. Широкая пойма реки (до 1.5 км) сильно заболочена, изобилует косами, перекатами, шиверами, плесами и изрезана многочисленными старицами и меандрами. Иногда, в местах прорезания реками сопочных гряд, пойма ограничивается крутыми скальными эрозионными уступами высотой до 10–15 м. В Т. 6 на поверхности галечно-песчаной косы у уреза воды наблюдаются трещины длиной до 10 м, при ширине до 5 см, с выбросами песка (рис. 3 а, б). Отдельные трещины видны и на поверхности косы на значительном удалении от уреза воды. Трещины с выбросами песка отмечаются также на заросшей травой поверхности низкой поймы. На бровке высокой пойменной террасы, имеющей высоту около 1 м, обнаружены многочисленные трещины отседания (отпора), длиной не более 1 м. Величина отседания бровки не превышает 20 см. Ширина раскрытия трещин – не более 5 см. Отдельные трещины представляют собой плоскости срыва мелких осыпей галечно-песчаного аллювия, слагающего террасу.



Рис. 3. Сейсмовибрационные нарушения в долине р. Крестовка

а – грифон (Т. 6); б – трещина с выбросами песка (Т. 6); в, г – трещины на поверхности косы в Т. 11

Т. 11 – 9.7 км от устья р. Крестовка. На поверхности галечно-песчаной косы наблюдается система трещин встряхивания общей длиной около 70 м (рис. 3 в, г). Трещины прослеживаются на различных грунтах (галечка или песок). Ширина трещин – до 30 см. Величина отседания берега достигает 10 см.

Т. 22 – 17.3 км от устья р. Крестовка. На поверхности галечно-песчаной косы в песчаных наносах наблюдаются системы раскрытых трещин со следами выброса и разлива песка общей длиной до 80 м. Длина трещин – до 4 м, зияние – до 20 см. Единичные короткие трещины со следами выброса и выдавливания песка попадают на всей галечной поверхности.

Увеличение плотности вторичных эффектов вдоль русла р. Крестовка находит соответствие и в характере нарушений на склонах долины. На рассматриваемом участке практически все скальные обрывы оказались поражены обвалами, камнепадами и трещинами отпора. Срывы склонового чехла произошли также и на уступах высоких террас.

Т. 7 – 10.6 км выше от устья р. Крестовка. В правом борту долины от скального обрыва высотой 8–10 м оторвался небольшой обвал (объемом 30–50 м³), сложенный глыбами размером до 1 м в поперечнике (рис. 4 а). Интересно, что современный обвал частично перекрыл древний, сложенный такими же глыбами. Более древний обвал имеет несколько генераций. Это может свидетельствовать о возникновении в прошлом землетрясений подобной силы. Неподдалеку, у бровки обрыва, в скальных породах наблюдаются свежие трещины закола зародившегося, но не сошедшего обвала (рис. 4 б). Ширина трещин до 30 см при длине около 5 м.



Рис. 4. а – обвал в Т. 7; б – трещины в скальном обрыве (Т. 7); в – лесоповал в Т. 23 (в долине р. Крестовка)

Т. 23 – 15.7 км выше от устья р. Крестовка. В правом борту долины реки, на пологом (до 10°) склоне водораздела была обнаружена полоса поваленного леса (рис. 4 в), охватывающая участок тайги длиной около 200 м и шириной до 100 м, вытянутый в широтном направлении. Стволы деревьев в некоторых случаях отброшены на расстояние до 1 м. Ориентировка стволов в основном вниз по склону. Реже они ориентированы на запад–юго-запад, вверх по склону, что может указывать на направление сейсмического удара. Лесоповал приурочен к очагу недавнего лесного пожара, однако охватил далеко не весь горельник. Деревья были повалены после пожара, при землетрясении, на что указывает динамика явления, но деревья оказались подготовлены к этому пожаром – у них перегорели корневища.

Т. 8 – 6.2 км выше от устья р. Крестовка. В правом борту долины реки скальный обрыв высотой до 25 м на всем своем протяжении (около 1 км) стал зоной отрыва камнепадов и обвалов объемом до 150 м³ (рис. 5 а).



Рис. 5. а – обвал в долине р. Крестовка (Т. 8); б – обвал в долине р. Малый Ольдой (Т. 1)

В восточном и западном направлениях от рассмотренного участка количество и размеры вторичных эффектов уменьшаются при неизменности природных условий. Интенсивность сотрясений здесь уже меньше – $I_i=7$ баллов, а изосейсту можно провести между Т. 21, Т. 22 на востоке и Т. 4, Т. 5, Т. 6 – на западе.

Т. 21 – 19.7 км выше от устья р. Крестовка. На песке и изредка на галечной поверхности отмечаются единичные трещины длиной до 1 м со следами выброса и выдавливания песка. Ширина раскрытия трещин – до 5 см. Трещины наблюдаются на расстоянии до 5–6 м от уреза воды.

Т. 20 – 2 км выше от устья р. Янкан. На галечно-песчаной косе встречены единичные короткие (не более 1 м) трещины встряхивания, проявленные исключительно на песчаных россыпях. Далее на восток сейсмовибрационные и сейсмогравитационные проявления постепенно сходят на нет ($I_i=6$ баллов).

Т. 4 – 1.9 км выше от устья р. Крестовка. На галечной косе у уреза воды наблюдается система свежих трещин встряхивания общей длиной не более 30 м. Трещины – короткие (не более 2 м) и раскрыты на ширину не более 5 см. Они сопровождаются округлыми (до 50 см в диаметре) песчаными грифонами. В данном случае растрескиванию и разжижению подверглись исключительно обводненные участки косы у самого русла реки, а песок был вынесен из трещин вместе с большим количеством воды.

Т. 3 – устье р. Крестовка. Здесь также у уреза воды обнаружены многочисленные, короткие (до 3 м), зияющие на 5–10 см трещины. Длина системы трещин – около 100 м. Вдоль трещин вытянуты следы выброса песка (грифоны) шириной до 40 см. Трещины развиты на поверхности галечно-песчаной косы. По словам рыбаков, в момент главного толчка песок был выбит из трещин вместе с фонтанировавшей водой на высоту до 2 м. Толчок сопровождался

волнообразными колебаниями поверхности косы и гулом в направлении с востока на запад. Вода в реке при этом сразу стала мутной. Колебания длились около 15–20 с.

Т. 2 – железная дорога (Амура-Якутская магистраль) в 2.4 км к северо-востоку от п. Солнечный. Четыре столба вдоль дорожной ЛЭП покосились. Прямоугольные бетонные основания столбов треснули, сохранив целостность. Полотно железной дороги не деформировано. По словам железнодорожников, работавших на обследовании полотна в связи с землетрясением, полотно магистрали на всем протяжении не пострадало. Исключение составляют мелкие сейсмогравитационные трещины в насыпи длиной в первые метры.

Т. 1 – 2 км к юго-западу от пос. Солнечный. В левом борту р. Малый Ольдой с отвесного скального обрыва у русла сошел обвал (рис. 5 б). Высота обрыва – около 8 м. Обвал небольшой (50–100 м³), сложен отколовшимися глыбами размером до 1.5 м в поперечнике. Глыбы откололись от цирка отрыва шириной до 3 м и откатились в горизонтальном направлении до 5 м в русло реки. Характерно, что стенка отрыва полностью наследует поверхность обрыва, не нарушая даже почвенный покров, перекрывающий выветрелые скальные породы, т.е. глыбы были «подготовлены» выветриванием, отколовшись по трещинам отдельности.

Обвал в Т. 1 является самым западным из геологических проявлений землетрясения. Уже в районе пос. Тахтамыгда такие же отвесные скальные обрывы в долине р. Малый Ольдой не породили ни одного обвала. 7-балльные эффекты обнаружены также к северу от р. Крестовка, в долинах р. Амнурай и Валикта.

Т. 13, Т. 14, Т. 15 – долина р. Амнурай, разработанная золотодобытчиками и представляющая собой нагромождение отвалов рыхлых валунно-глыбово-галечно-гравийных грунтов шириной до 200 м. В русле, у уреза воды, наблюдаются сейсмовибрационные трещины длиной до 2 м, выстраивающиеся в системы длиной до 10 м. Вдоль этих трещин наблюдаются следы небольших выбросов песка. На бровке уступа пойменной террасы образовались многочисленные трещины отседания и мелкие песчано-галечные осыпи. Многочисленные сейсмовибрационные трещины длиной до 15 м, раскрытые на 5–15 см, в большом количестве образовались и на поверхности отвалов вдали от русла реки в рыхлых насыпных грунтах. Во врезе дороги, следующей вдоль золотоносной разработки, на отвесных скальных участках образовались многочисленные камнепады и мелкие осыпи.

Т. 17 – долина р. Валикта. Река имеет узкое (до 8 м), врезанное на 0.5–1 м русло с очень редкими небольшими песчаными косами и островками и протекает среди широкой заболоченной равнины. Вдоль задернованных бортов руслового вреза при землетрясении образовались очень редкие трещины длиной до 1 м при ширине до 3 см. Ограниченное развитие трещин, помимо невысокого уровня сотрясений (не более 7 баллов при прочих равных условиях), можно объяснить неблагоприятными для этого процесса грунтовыми условиями.

Все прочие обнаруженные природные эффекты землетрясения представлены мелкими редкими трещинами и камнепадами в благоприятных условиях.

Сопоставление результатов макросейсмических, сейсмогеологических и сейсмологических исследований представлено на рис. 6. Изосейсты построены по данным полевых наблюдений на представительном участке. Для рисовки изосейст полевые данные представительны в долине р. Крестовка и к северу от нее, где прослеживаются закономерные изменения плотности, размеров и разнообразия генетических типов вторичных нарушений.

Общая площадь S проявления вторичных эффектов, равная $S=250–270$ км², отвечает $I_0=8$ баллов. Из рассмотрения отдельных участков возникновения вторичных нарушений следует, что 8-балльному эффекту отвечает только их высокая площадная плотность на участке долины р. Крестовка протяженностью около 15 км, тогда как размеры конкретных трещин и обвалов не превысили 7-балльной оценки. Это связано с начавшимся промерзанием грунтов и отсутствием склонов, благоприятных для крупных обвалов и оползней. В данном случае наглядно проявилась особенность использования шкалы ESI-2007, которая специально оговаривается в соответствующем руководстве. При использовании шкалы учет локальных условий возможен при переходе от интервалов интенсивности «объектов» к интенсивности в «пункте» [6, 7]. «Пунктами» выступают основные элементы рельефа, например, небольшие речные долины или горные массивы, в пределах которых оценивается сейсмический эффект по всей совокупности объектов. Такое использование различных пространственных уровней генерализации эффектов существенно повышает устойчивость оценок к внешним факторам. В итоге для

участка максимальной концентрации вторичных нарушений выбрано то значение балла ($I_0=8$), которое наилучшим образом согласуется с общей площадью проявления вторичных эффектов.

Инструментальный эпицентр, по данным временной сети ИФЗ [3], расположен в 2.7 км южнее середины 8-балльного участка в долине р. Крестовка. Можно полагать, что инструментальный эпицентр [3] в общих чертах соответствует макросейсмическому, в связи с чем он использован для расчета расстояний в табл. 1.

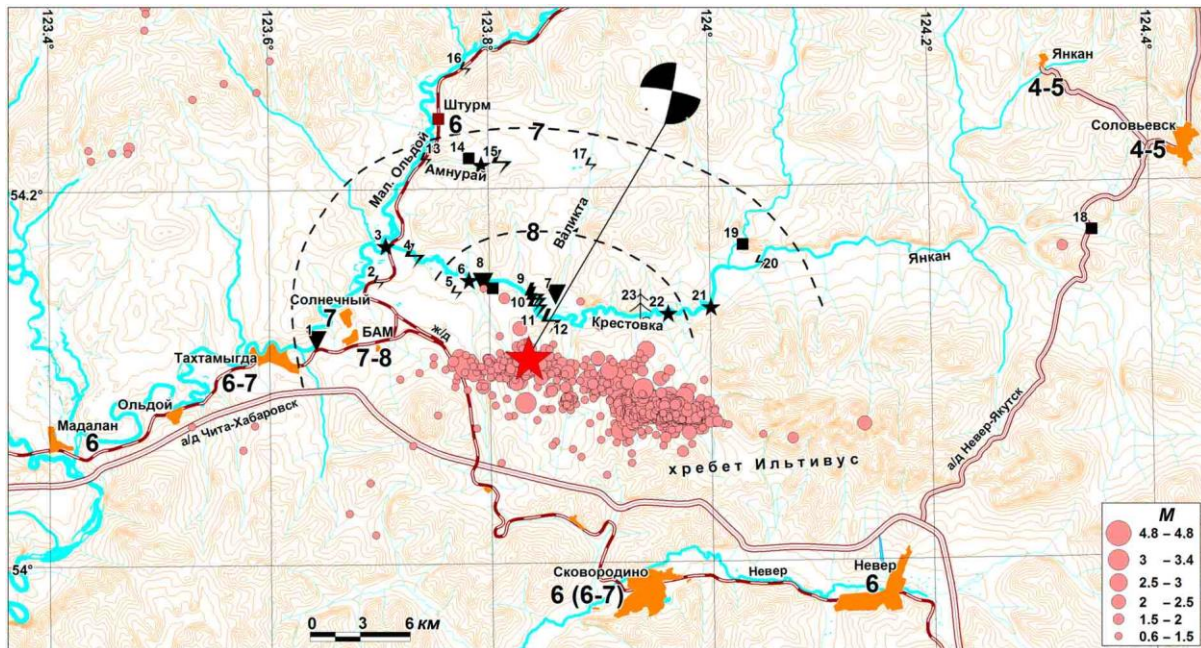


Рис. 6. Карта изосейст в ближней зоне Сковородинского землетрясения 14 октября 2011 г., положения главного толчка и афтершоков [3], с механизмом очага по данным Global CMT [1] (остальные условные обозначения см. на рис. 2)

Наблюдаемые незначительные различия между макросейсмическими и инструментальными данными обусловлены геолого-геоморфологическими условиями. В районе инструментального эпицентра благоприятные условия для образования вторичных нарушений отсутствуют. Нет здесь и постоянного населения. В этом таежном районе широко развиты сглаженные склоны и пологонаклонные поверхности с мощным обводненным суглинистым чехлом, покрытые густым растительно-моховым и торфяным покровом, т.е. формы рельефа, крайне неблагоприятные для образования вторичных нарушений. Максимальные геологические эффекты проявились в ближайшем благоприятном месте – расположенной в нескольких километрах к северу широкой заболоченной долине р. Крестовка с широко развитыми обводненными песчано-галечными грунтами и отвесными скальными обрывами. Таким образом, собранные макросейсмические данные хорошо дополняются результатами сейсмогеологических исследований.

Сейсмотектоническая позиция очага. Ориентация длинных осей изосейст и облака афтершоков – близширотная (восток–северо-восточная), что соответствует простиранию одной из нодальных плоскостей решения механизма очага Global CMT. Тип подвижки – почти чистый левый сдвиг (простирание плоскости – 281° , падение – 82° , подвижка – 3°). Среднее смещение по плоскости подвижки оценено в 63 см [3].

Землетрясение произошло на юго-западной окраине Тукурингра-Джагдинской сейсмической зоны, приуроченной к одноименным горным хребтам. Наиболее сильные землетрясения, произошедшие за инструментальный период в Тукурингра-Джагдинской зоне, – Гилуйское 13.06.1972 г. с $M=5.6-5.7$ и Зейское 02.11.1973 г. с $M=5.5-5.7$ [10]. Предыдущее ощутимое землетрясение Тукурингра-Джагдинской сейсмической зоны произошло 17.06.2008 г. с $M=5.3$ примерно на 270 км восточнее [11]. Большое сходство механизмов очагов землетрясений 1972, 1973, 2008 и 2011 гг. [12] свидетельствует о единстве современного поля напряжений в пределах Тукурингра-Джагдинской сейсмической зоны. Палеосейсмогеологические исследования в пределах Тукурингра-Джагдинской зоны привели к выявлению палеосейсмодислокаций, об-

разовавшихся при землетрясениях с $M=6.5$, $I_0=8-9$ баллов [13]. Эпицентральная область Сковородинского землетрясения относится к зоне 8-балльного эффекта по карте ОСР-97 В и 7-балльного – по карте ОСР-97 А.

В тектоническом отношении землетрясение произошло на южной окраине Амуро-Охотской складчато-надвиговой системы – восточной ветви Центрально-Азиатского подвижного пояса (рис. 7). Система относится к типу шовных – она разделяет две древнейших структуры (протерозойскую Алдано-Становую складчатую систему и Буреинский кристаллический массив) и характеризуется полициклическим развитием, начиная с венда, в течение почти всего палеозоя и большей части мезозоя. Основные черты рельефа и структуры Амуро-Охотской системы были сформированы в результате плиоцен-четвертичной тектонической активизации, когда в прилегающих к хребтам впадинах накапливались преимущественно грубообломочные отложения, несогласно залегающие на более древних образованиях [14]. К югу от Амуро-Охотской системы расположен Буреинский кристаллический массив, на котором заложен мезозойский Верхнеамурский прогиб. Гетерогенный фундамент массива окончательно сформировался в позднем палеозое; в последующем отдельные его участки были неоднократно активизированы. С позднего мела Буреинский массив выступает как молодая платформа, активизированная в плиоцен-четвертичное время.

В морфоструктурном отношении эпицентр приурочен к южному слабо оформленному борту Уруша-Ольдойской неотектонической впадины. Рельеф рассматриваемого района в целом имеет сглаженные очертания. Всклопленная равнина Уруша-Ольдойской впадины, выполненная мощной толщей кайнозойских песчано-глинистых осадков, вмещает широкие заболоченные участки долин рек Крестовка, Янкан и Малый Ольдой (ниже разезда Штурм). Равнина Уруша-Ольдойской впадины осложняется многочисленными изолированными останцовыми сопками и сопочными грядами, вершины которых иногда имеют обнаженные острые гребни. Северный борт впадины имеет четкие очертания и вытянут вдоль Южно-Тукурингского и Монголо-Охотского разломов, к северу от которых расположено молодое поднятие горного хребта Тукурингра.

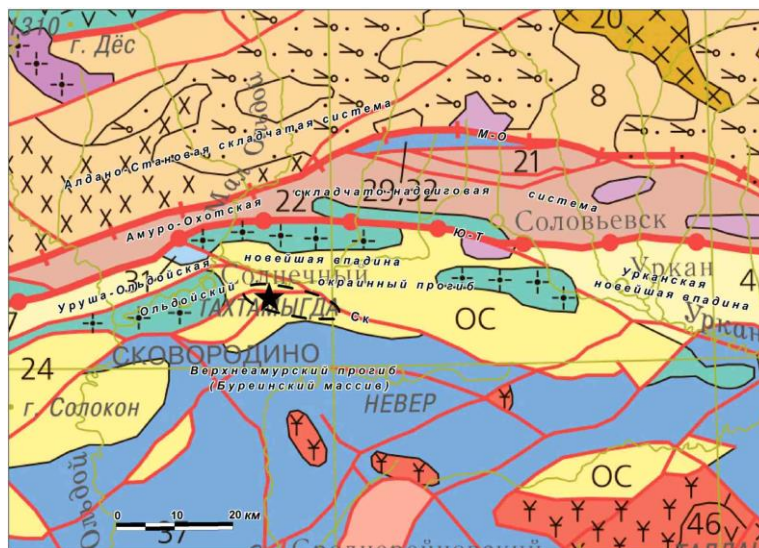


Рис. 7. Тектоническая карта [14] района Сковородинского землетрясения 14 октября 2011 г. Эпицентр землетрясения показан звездочкой, облако афтершоков – штриховой линией [3]; красные линии – основные разломы (М-О – Монголо-Охотский, Ю-Т – Южно-Тукурингский, Ск – Сковородинский).

Очаг Сковородинского землетрясения имеет четкую тектоническую позицию – он возник на границе Буреинского древнего массива и окраинной части Амуро-Охотской складчато-надвиговой системы, в пределах новейшей Уруша-Ольдойской впадины, где по геологическим данным трассируется зона Сковородинского разлома. Ранее считалось, что в пределах Тукурингра-Джагдинской сейсмической зоны напряжения концентрируются на ее разломных ограничениях – Северо-, Южно-Тукурингском и Монголо-Охотском активизированных разломах.

Косая по отношению к простиранию основных структур ориентировка действующей оси сжатия обусловила активную левостороннюю сдвиго-взбросовую деформацию в зоне Монголо-Охотского краевого шва и Южно-Тукурингского активного разлома. Молодой (голоценовый), хорошо выраженный в рельефе левосторонний сдвиг в зоне Южно-Тукурингского разлома выявлен в полосе контрастного сочленения Урканской впадины и хребта Тукурингра [13].

Подвижка при землетрясении 14 октября 2011 г. с $M_w=6.0$ произошла в стороне от ярко выраженных в рельефе активных разломов, показав, что зона активных сдвиговых деформаций гораздо шире. Очаг возник в зоне Сквородинского разлома на границе Буреинского древнего массива и окраинной части Амуро-Охотской складчато-надвиговой системы, где в позднем кайнозое возникла Уруша-Ольдойская впадина. Следов голоценовых сдвиговых смещений в зоне Сквородинского разлома не выявлено. Можно полагать, что магнитуда Сквородинского землетрясения в самом грубом приближении сопоставима с M_{max} рассматриваемой сеймотектонической провинции. Более сильные землетрясения, по палеосейсмогеологическим данным, связаны с магистральными неотектоническими швами – Монголо-Охотским и Южно-Тукурингским.

В 2006 г. при проектировании трассы нефтепровода Восточная Сибирь–Тихий океан (ВСТО) с участием авторов настоящей статьи были изучены основные сейсмогенерирующие структуры (зоны ВОЗ) с оценкой их сейсмического потенциала M_{max} вдоль высокосейсмичного отрезка трассы Тында–Сквородино. Сквородинское землетрясение произошло на окраине Соловьевской зоны ВОЗ с $M_{max}=6.0$, выделенной на периферии Монголо-Охотской зоны ВОЗ с $M_{max}=6.5$ (рис. 8). Таким образом, возникновение Сквородинского землетрясения с $M_w=6.0$ подтвердило правильность выделения вдоль магистральной зоны ВОЗ периферийного участка с более низким M_{max} .

Благодарности. Авторы выражают благодарность администрации Сквородинского р-на Амурской обл. за помощь при проведении полевых работ. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 11-05-02108-э_к, 11-05-00205).

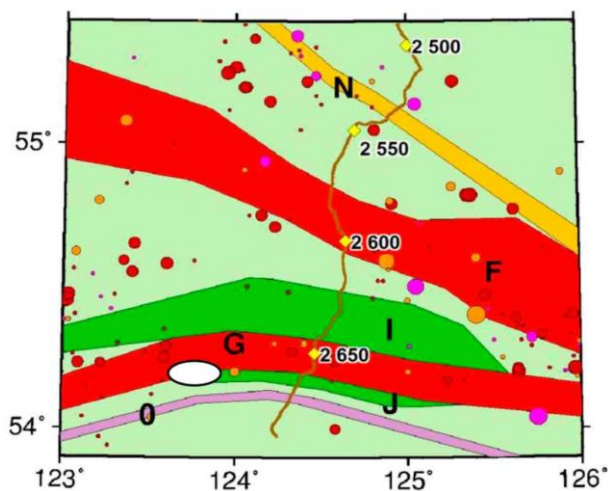


Рис. 8. Эпицентр землетрясения (белый овал) на карте зон ВОЗ 2006 г., где G – Монголо-Охотская зона с $M_{max}=6.5$, J – Соловьевская зона с $M_{max}=6.0$

Л и т е р а т у р а

1. Global Centroid Moment Tensor (CMT) Catalog Search. – URL: <http://www.globalcmt.org/>.
2. Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Вакарчук Р.Н., Ларьков А.С., Новиков С.С., Рогожин Е.А. Геологические и макросейсмические проявления землетрясения 14 октября 2011 г. в Сквородинском районе Амурской области // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2012. – 39. – № 4. – С. 5–18.
3. Быкова В.В., Татевосян Р.Э., Николаев Л.Д., Михин А.Г., Мокрушина Н.Г. Сквородинское землетрясение 2011 г. // Физика Земли. – 2015. – № 1. – С. 112–127.
4. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
5. Ханчук А.И., Сафонов Д.А., Радзиминович Я.Б., Коваленко Н.С., Коновалов А.В., Шестаков Н.В., Быков В.Г., Серов М.А., Сорокин А.А. Сильнейшее современное землетрясение в Верхнем Приамурье 14 октября 2011 года: первые результаты комплексного исследования // Докл. РАН. – 2012. – 445. – № 3. – С. 338–341.
6. Michetti A.M., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Audemard F., Azuma T., Clague J., Comerci V., Gürpinar A., McCalpin J., Mohammadioun B., Morner N.A., Ota Y., Rogozhin E. Intensity scale ESI-2007 // Special paper APAT, Memorie descrittive della carta geologica d'Italia. – 2007. – 74. – 41 p.

7. **Татевосян Р.Э., Рогожин Е.А., Арефьев С.С.** Оценка интенсивности землетрясений на основании сейсмических эффектов в природной среде: общие принципы и примеры применения // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2008. – **35**. – № 1. – С. 7–27.
8. **Рогожин Е.А.** О проекте новой макросейсмической шкалы EEE // Землетрясения Северной Евразии в 2003 г. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 396–402.
9. **Serva L., Vittori E., Comerci V., Esposito E., Guerrieri L., Michetti A.M., Mohammadioun B., Mohammadioun G.C., Porfido S., Tatevossian R.E.** Earthquake Hazard and the Environmental Seismic Intensity (ESI) Scale. // Pure and Applied Geophysics. – 2015. – **173**. – N. 5. – P. 1479–1515.
10. **Геология и сейсмичность зоны БАМ:** Сейсмогеология и сейсмическое районирование / В.П. Солоненко, В.В. Николаев, Р.М. Семенов, М.Г. Демьянович, Р.А. Курушин, В.С. Хромовских, А.В. Чипизубов. – Новосибирск: Наука, 1985. – 190 с.
11. **Фокина Т.А., Дорошкевич Е.Н., Кислицына И.П., Коваленко Н.С., Левин Ю.Н., Михайлов В.И.** Приамурье и Приморье, Сахалин и Курило-Охотский регион // Землетрясения России в 2008 году. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 36–43.
12. **Имаева Л.П., Имаев В.С., Смекалин О.П., Козьмин Б.М., Гриб Н.Н., Чипизубов А.В.** Карта сейсмоструктуры Восточной Сибири. – Иркутск-Нерюнгри: ТИ (ф) СВФУ, 2015. – 128 с.
13. **Николаев В.В., Семёнов Р.М., Солоненко В.П.** Сейсмогеология Монголо-Охотского линеймента (восточный фланг). – Новосибирск: Наука, 1979. – 113 с.
14. **Петрук Н.Н., Шилова М.Н., Козлов С.А., Новченко С.А. и др.** Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист N-51 – Сковородино (М-51). Объяснительная записка + карты. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2009. – 448 с.