УДК 551.248.2 + 550.34 (235.222)

СЛЕДЫ ДРЕВНИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЯЛОМАНСКОМ ГРАБЕНЕ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

^{1,2}Лобова Е.Ю., ^{1,2}Деев Е.В., ^{2,3}Зольников И.Д.

¹*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск 630090, пр-т Академика Коптюга, 3, e-mail: katenageologist@mail.ru*

²*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 630090, ул. Пирогова, 2, e-mail: deeev@ngs.ru*

³*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, 630090, пр-т Академика Коптюга, 3, e-mail: sole@igm.nsc.ru*

Проведены палеосейсмологические исследования в пределах Яломанского грабена (Горный Алтай). В нижнем течении р. Малый Яломан и р. Иня выявлено шесть разрезов четвертичных отложений с присутствующими в них сейсмогенными деформациями (сейсмитами). Следы древних землетрясений сконцентрированы на двух возрастных уровнях: (1) позднеплейстоценовый, (2) голоценовый. Следы крупного голоценового землетрясения на одном стратиграфическом уровне прослежены на расстоянии 7 км. В качестве механизмов образования сейсмиков следует рассматривать хрупкое разрушение, разжижение и флюидизацию. Типы сейсмогенных деформаций и их размеры позволяют утверждать, что в пределах Яломанского грабена и его горного обрамления в доисторическое время существовала зона концентрации землетрясений с $M \geq 5-7$, хотя в настоящее время здесь происходят землетрясения с более низкими магнитудами.

Ключевые слова: сейсмита, землетрясения, четвертичные отложения, Яломанский грабен, Горный Алтай

**ANCIENT EARTHQUAKES TRACES IN THE YALOMAN GRABEN
(GORNYY ALTAI)**

^{1,2}Lobova E.Y., ^{1,2}Deev E.V., ^{2,3}Zolnikov I.D.

¹*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090, Koptug ave., 3, e-mail: katenageologist@mail.ru*

²*Novosibirsk State University, Novosibirsk, 630090, Pirogova str., 2, e-mail: deevev@ngs.ru*

³*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090, Koptug ave., 3, e-mail: zol@igm.nsc.ru*

Paleoseismology researches within the Yaloman graben (Gorny Altai) are conducted. Six sections of Quaternary deposits with the earthquake-induced deformations (seismites) which are present at them are revealed in the lower current of the rivers Malyy Yaloman and Inya. Large ancient earthquakes traces are concentrated at two age levels: (1) Late Pleistocene, (2) Holocene. Traces of a large Holocene earthquake are tracked at distance of 7 km at one stratigraphic level. As the mechanisms of seismites formation it should be considered brittle destruction, liquefaction and fluidization. Types of seismites and their sizes suggest that within Yalomansk graben and its mountain frame existed concentration zone of earthquakes with $M \geq 5-7$ in prehistoric times, although at present there are earthquakes with lower magnitudes.

Keywords: seismites, earthquakes, Quaternary deposits, Yaloman graben, Gorny Altai

Введение

Горный Алтай – классическая территория неотектонического горообразования. Очевидно, что процессы орогенеза сопровождались здесь сейсмическими событиями. В самом Горном Алтае и в прилегающих районах Кузбасса, Монгольского и Рудного Алтая сильные землетрясения в исторический и инструментальный периоды наблюдений случались неоднократно. Интерес к палеосейсмологическим исследованиям в Горном

Алтае возобновился после Чуйского землетрясения 2003 г. с $M_s=7.3$ и интенсивностью 8-9 баллов. Были получены новые данные о голоценовых первичных и вторичных сейсмодислокациях территории [7], обнаружены вторичные сейсмогенные деформации (сейсмиды) в более древних четвертичных отложениях [2, 3, 4].

Актуальность палеосейсмологических исследований продиктована необходимостью оценки сейсмического потенциала различных районов Горного Алтая в связи с бурно идущим здесь возведением объектов туристической инфраструктуры, существующими планами по строительству малых ГЭС, а также с возможной прокладкой по его территории газопровода в КНР. В первую очередь в этом отношении интересны территории межгорных впадин, к категории которых относится и Яломанская впадина, находящаяся в пределах одноименного грабена (Рис. 1).

Цель представляемой работы – выявление следов плейстоцен-голоценовых землетрясений в районе Яломанского грабена.

Структурное положение и современная сейсмичность района исследований

Яломанский грабен дренируется р. Катунь, а по оперяющим его разломам заложены долины крупных ее притоков – рр. Чуя, Большой и Малый Яломан, Иня. Формирование грабена в четвертичном периоде предопределялось развитием протяженной субмеридионально ориентированной структуры - Катунского раздвига. Он относится к числу активных структур, с которой связаны инструментально и исторически зафиксированные землетрясения. Непосредственно в Яломанском грабене и его горном обрамлении за инструментальный период наблюдений регистрировались относительно слабые землетрясения до 9-го энергетического класса.

Рис. 1. Современная блоковая структура района Яломанского грабена

Белые линии – выраженные в рельефе разноранговые разломы. Черные четырехугольники – районы работ. 1 – эпицентры инструментально зарегистрированных землетрясений за период с 1963 по 2009 г. (по данным Алтае-Саянского филиала Геофизической службы СО РАН): а – $K=6-7$, б – $K=8$, в – $K=9$; 2 – положение ранее выявленных разрезов с сейсмогенными деформациями в четвертичных отложениях.

Грабен выполнен мощным комплексом среднеплейстоцен-голоценовых отложений. Здесь сосредоточены опорные разрезы отложений среднеплейстоценовой ининской и позднеплейстоценовой сальджарской толщ. Обе толщи сложены циклитами отложений гигантских гляциальных паводков (ГГП). Фациальная архитектура циклитов, количество которых в ининской толще может достигать семи, а в сальджарской – трех, схожа, и в разрезе полного цикла выделяется следующий набор фаций: селевая, пойменная, русловая, оплывневая, вторично-подпрудных озер [5]. При этом мощность ининской толщи может достигать 300 м, сальджарской – 60 м.

Плейстоценовые отложения перекрываются позднеплейстоценоголоценовым субаэральным комплексом, включающим лессы и эоловые пески, делювиально-пролювиальные шлейфы. В них вложен голоценовый аллювий, формирующий низкие террасы и поймы.

Результаты палеосейсмологических исследований

При изучении разрезов четвертичных отложений в нижнем течении р. Малый Яломан и р. Иня обнаружено шесть обнажений с разнотипными и разновозрастными деформационными структурами, которые авторы соотносят с доисторическими землетрясениями.

Все выявленные деформации относятся к категории вторичных косейсмических. В качестве механизмов их образования следует рассматривать хрупкое разрушение, разжижение и флюидизацию. Хрупкие деформации представлены трещинами, структурами растяжения, микроразломами и разломами различной кинематики. Амплитуды смещений по микроразломам и разломам составляет первые миллиметры – первые десятки сантиметров. С процессом разжижения связано формирование флексур, циклоидных и лежащих складок, псевдонодулей в отложениях с размерностью 0.1-1 см, а также крупномасштабных структур перемешивания (с амплитудами до 2-3 м) при участии аллювиальных галечников. При этом можно различать три самостоятельные системы во влагонасыщенных отложениях, где происходит разжижение: (1) система коллектор – флюидоупор; (2) система без флюидоупора, но с наличием неустойчивости в виде обратного градиента плотности (более грубозернистые слои подстилаются мелкозернистыми); (3) внутрислойные сдвиговые деформации разжиженного осадка.

С учетом мирового опыта исследования сейсмиков авторы используют следующие критерии соотнесения обнаруженных деформаций с доисторическими землетрясениями:

1. Изученные разрезы расположены в области интенсивного позднекайнозойского горообразования. Изученная территория

характеризуется наличием многочисленных разномасштабных неотектонических разломов, в том числе сейсмогенерирующих.

2. Деформации не являются седиментационными, т.к. они нарушают первичные седиментационные текстуры и первичную стратиграфическую последовательность слоев.
3. Деформации не могут быть сопоставлены с гляциодислокациями, т.к. изученные разрезы расположены в перигляциальной зоне. Они отличаются от деформаций, вызванных мерзлотными процессами (текстуры солифлюкционного перемешивания и мерзлотные клинья), оползновыми процессами.
4. Деформации спонтанно развиты в однотипных сочетаниях слоев и слойков. Часто деформированные горизонты разделены недеформированными интервалами разреза.
5. Деформации, расположенные на одном стратиграфическом уровне, в ряде случаев могут быть прослежены на расстоянии от сотен метров до первых километров, что может свидетельствовать об их широкой площадной распространенности.
6. Обнаруженные деформации масштабно и морфологически соответствуют деформациям, зафиксированным в других сейсмоактивных зонах и генетически сопоставленным с современными, историческими и древними землетрясениями.

В возрастном отношении концентрация выявленных сейсмогенных деформаций приходится на завершающий этап формирования сальджарской толщи (разрезы Малояломанский, Малояломанский-1, 2, Яломанский) и на растянутый во времени этап (до 10500 л.н.) врезания в нее Катунь и Малого Яломана с формированием комплекса средних террас. Здесь сейсмогенные деформации отмечены в озерных отложениях, в отложениях пойменной фации ГГП и нижней части аллювия. Второй возрастной уровень концентрации сейсмогенных деформаций моложе 10500 л.н. (разрезы Малояломанский-2, 3,

Малоинской). Они произошли после того, как долины Малого Яломана и Ини были заполнены мощной толщей делювия, сформировавшейся за счет переотложения рыхлых сальджарской и ининской толщ. Сверху деформации закрываются аллювием низких террас, делювием и современной почвой (Рис. 2). О верхней возрастной границе последнего наиболее сильного землетрясения говорит радиоуглеродная датировка, полученная из погребенной почвы, залегающей над голоценовым аллювием в районе разрезов Малоядоманский-2 и 3 - 9715 ± 65 лет (СОАН-2621) [8]. С учетом местоположения разрезов Малояломанский-2, 3 и Малоинской следы этого крупного древнего землетрясения на одном стратиграфическом уровне удалось проследить на расстоянии 7 км. Причем, интенсивность деформаций увеличивается с востока (долина р. Иня) на запад (долина р. Малый Яломан), т.е. в сторону древней эпицентральной зоны.

Понимание механизмов формирования сейсмитов позволяет с их помощью оценить вероятные параметры доисторических землетрясений. В международных (INQUA, MSK-64, EMS-98) и региональных шкалах оценки интенсивности землетрясений, построенных с учетом проявления вторичных косейсмических деформаций в рыхлых грунтах, величина нижнего порога возникновения хрупких деформаций и эффектов разжижения варьирует от 5 до 8 баллов [6; и др.].

Статистические данные, увязывающие магнитуды исторических и инструментально зарегистрированных землетрясений с эпицентрными расстояниями до сайтов с проявлением явлений разжижения и флюидизации в различных сейсмоактивных регионах, показывают, что они проявляются в рыхлых влагонасыщенных осадках при землетрясениях с $M \geq 5.0-6.0$ [10]. В отложениях гравийно-галечной размерности нижний предел магнитуд может повышаться до 7, а интенсивность до 8 баллов [9]. Неопределенность в определении положения эффектов разжижения и флюидизации от палеоэпицентра резко возрастает при увеличении магнитуды землетрясения. Так

при $M=5.0$, они локализируются в пределах десятикилометровой зоны от эпицентра, при $M=6.0$ – на расстоянии 30 км, а уже при $M=7.0$ – 100 км, и на расстоянии до 300 км при $M=8.0$.

Рис. 2. Разрез Малояломанский-2 (А) и структуры растяжения в кровле дресвяников пойменной фации ГГП слоя 1, заполненные русловыми аллювиальными галечниками слоя 2 (Б-Г)
1 – дресвяники пойменной фации ГГП; 2 – русловые галечники; 3 – пойменные пески и алевроиты; 4 – делювий; 5 – русловые галечники; 6 – пойменные пески и алевроиты; 7 – современная почва; 8 – разломы и трещины; 9 – границы даек и силлов.

Аналогичные зависимости для инструментально зарегистрированных землетрясений с глубинами гипоцентров 10-40 км на территории гор южной Сибири, Монголии и северо-востока Казахстана показали, что и здесь эффекты разжижения и флюидизации возникают, начиная с пороговых значений $M_s \geq 5.2$ и $I_0 = 6-7$ (шкала MSK-64) [1]. При этом такие эффекты располагаются в несколько раз ближе к эпицентру, чем другие вторичные косейсмические эффекты и около половины их локализуется на расстоянии около 40 км от эпицентра. Для палеосейсмологических построений также важно, что около половины всей

совокупности вторичных косейсмических эффектов и около 70 % случаев разжижения грунта сосредоточены в пределах 20 км от сейсмогенерирующего разлома, а в пределах 40 км — 78% и 90%, соответственно. В эту выборку попали и данные по Чуйскому землетрясению 2003 г., при котором эффекты, связанные с разжижением и флюидизацией, наблюдались в Чуйской впадине на расстоянии от эпицентра до 50-55 км [7].

Выводы

В результате проведенных исследований полученные новые палеосейсмологические данные по участку нижнего течения р. Малый Яломан. Они, с учетом ранее произведенных исследований [4], позволяют утверждать, что в районе Яломанского грабена в доисторическое время существовала зона концентрации землетрясений с $M \geq 5-7$, причем землетрясения более молодого возрастного уровня имели большие магнитуды. Наиболее крупное сейсмическое событие, по предварительным оценкам, могло произойти в интервале 10500-9700 л.н. Сейсмогенные деформации, обнаруженные в пределах Яломанского грабена, вкупе с палеосейсмологическими и археосейсмологическими данными по Манжерокскому и Чемальскому грабенам [2], указывают на то, что на протяжении среднего плейстоцена-голоцена в пределах Горного Алтая существовала крупная сейсмогенерирующая структура - Катунский раздвиг.

Полученные данные говорят в пользу того, что территории, прилегающие к Катунскому раздвигу и характеризующиеся в настоящее время относительно малочисленными и низкомагнитудными сейсмическими событиями, обладают куда более значимым сейсмическим потенциалом.

Список литературы

1. Андреев А.В., Лунина О.В. Параметры землетрясений и пространственное распределение косейсмических эффектов на юге Сибири и Монголии // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2012. – т. 39, № 2. – С. 37–68.
2. Деев Е.В., Зольников И.Д., Бородовский А.П., Гольцова С.В. Неотектоника и палеосейсмичность долины нижней Катунь (Горный Алтай) // Геология и геофизика. – 2012. – т. 53, № 9. – С. 1154–1168.
3. Деев Е.В., Зольников И.Д., Гольцова С.В., Русанов Г.Г., Еманов А.А. Следы древних землетрясений в четвертичных отложениях межгорных впадин центральной части Горного Алтая // Геология и геофизика. – 2013. – т. 54, № 3. – С. 410–423.
4. Деев Е.В., Зольников И.Д., Гуськов С.А. Сейсмичность в четвертичных отложениях Юго-Восточного Алтая // Геология и геофизика. – 2009. – т. 50, № 6. – С. 703–722.
5. Зольников И.Д. Стратотипы четвертичных отложений Яломано-Катунской зоны Горного Алтая // Геология и геофизика. – 2008. – т. 49, № 9. – С. 906–918.
6. Никонов А.А. Сейсмодеформации в рыхлых отложениях и их использование в палеосейсмологических реконструкциях // Проблемы современной сейсмогеологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии: Материалы совещания. Иркутск, ИЗК СО РАН. – 2007. – т. 2. – С. 54–59.
7. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Ушанова Е.А. Тектоническая позиция и геологические проявления Алтайского землетрясения // Геотектоника. – 2007. – № 2. – С. 3–22.
8. Русанов Г.Г., Орлова Л.А. Радиоуглеродные датировки (СОАН) Горного Алтая и Претайской равнины. Бийск: ФГБОУ ВПО «АГАО», – 2013. – С. 291.
9. Bezerra F.H.R., Fonseca V.P., Vita-Finzi C., Lima-Filho F.P., Saadi A. Liquefaction-induced structures in Quaternary alluvial gravels and gravels sediments, NE Brazil // Engineering Geology. – 2005. Vol. 76. – P. 191–208.
10. Obermeier S.F. Use of liquefaction-induced features for paleoseismic analysis – An overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleo-earthquakes // Engineering Geology. – 1996. Vol. 44. – P. 1–76.