

НЕОТЕКТОНИКА

УДК 551.243+550.349

**О СВЯЗИ МЕЖДУ ОЧАГОМ ИСТОРИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 25 МАЯ 1887 г.
И РАЗЛОМОМ ПО ДОЛИНЕ РЕКИ БИЛИКТУЙКА (юг Сибирской платформы)**

А.С. Гладков, Я.Б. Радзиминович, О.В. Лунина

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

В рамках работ по изучению трассы газопровода Ковыкта—Саянск—Иркутск на юге Сибирской платформы проведено изучение нескольких зон активных разломов. В их пределах зафиксированы сейсмогенные деформационные структуры позднекайнозойского возраста. Наибольшую интенсивность смещения и деформации имеют в разломной зоне в долине р. Биликтуйка. Результаты радиоуглеродного датирования захороненных почвенных горизонтов, выполненного для данного разлома, сопоставлены с сейсмологическими данными об отмечавшихся в данном районе землетрясениях, что позволило связать последнюю подвижку по разлому с историческим землетрясением 25 мая 1887 г.

Тектоническая деформация, землетрясения, юг Сибирской платформы.

**A RELATIONSHIP BETWEEN THE SOURCE OF THE 25 MAY 1887 EARTHQUAKE
AND THE FAULT ALONG THE BILIKTUJKA RIVER VALLEY (southern Siberian Platform)**

A.S. Gladkov, Ya.B. Radziminovich, and O.V. Lunina

Several active fault zones were studied in the southern Siberian Platform along the Kovykta–Sayansk–Irkutsk gas pipeline. Late Cenozoic seismogenic faults are observed here. The fault zone in the Biliktuijka River valley shows the strongest displacements and deformations. The radiocarbon dating of buried soil horizons for this fault was compared with seismological data on the earthquakes observed in this area. The comparison permitted attributing the latest slip along the fault to the 25 May 1887 earthquake.

Tectonic deformation, earthquakes, southern Siberian Platform

ВВЕДЕНИЕ

Изучение активной тектоники и сейсмичности стабильных древних платформ в последнее время входит в число приоритетных направлений исследований. Основная цель подобных работ — выявление и картирование активных структур, способных генерировать очаги землетрясений, а также оценка их сейсмического потенциала. Сибирская платформа в этом аспекте не является исключением. Возможность возникновения сильных землетрясений в ее пределах до недавнего времени подвергалась сомнению, однако в конце XX в. началось систематическое изучение различных аспектов сейсмических проявлений на этой территории, с нарастающей интенсивностью продолжающееся по настоящее время [Голенецкий, 1997, 1999; 2001; Чипизубов, 1997, 2009; Семинский и др., 2001, 2008; Чипизубов и др., 2001; Семинский, Радзиминович, 2007; Овсяченко и др., 2007; Саньков и др., 2008].

В определенной мере пробуждению интереса к платформенной сейсмичности способствовало значимое для рассматриваемого района землетрясение 26 февраля 1996 г. ($M \sim 4$), произошедшее в районе Братского водохранилища и вызвавшее большой интерес [Голенецкий, 1998].

В прикладном аспекте одним из наиболее интересных районов Сибирской платформы является южный выступ Иркутского амфитеатра. Здесь сосредоточено большинство крупных населенных пунктов Южного Прибайкалья и, соответственно, наблюдается наивысшая в Восточной Сибири плотность населения. Кроме того, на этой территории отмечается высокая концентрация промышленных предприятий, в том числе экологически опасных. Эти обстоятельства подводят нас к необходимости углубления наших знаний о тектонической активности района и его сейсмической опасности.

При изучении сейсмичности платформ используются широкий спектр данных, в том числе инструментальная сейсмологическая информация, сведения о сейсмических проявлениях исторического прошлого, а также материалы морфотектонических и палеосейсмологических исследований. Последние представляют особый интерес, поскольку являются результатом работ, проводившихся непосредственно на местности, и позволяют картировать выявленные структуры с точной координатной привязкой. Выделенные по результатам палеосейсмологических исследований структуры на последующих этапах анализа информации могут быть сопоставлены с сейсмологическими (инструментальными и/или историческими) данными.

В 2006 г. в южных районах Иркутского амфитеатра были проведены работы по обоснованию строительства газопровода Ковыкта—Саянск—Иркутск. Согласно новой электронной карте [Лунина и др., 2010], для изученной площади характерно наличие активных разломов, несущих следы позднекайнозойских движений [Гладков, Семинский, 1999; Гладков и др., 2000; Гладков, Лунина, 2004; Gladkov, Lunina, 2010], а также сейсмогенные деформации [Чипизубов и др., 2001; Аржанникова, Аржанников, 2005;

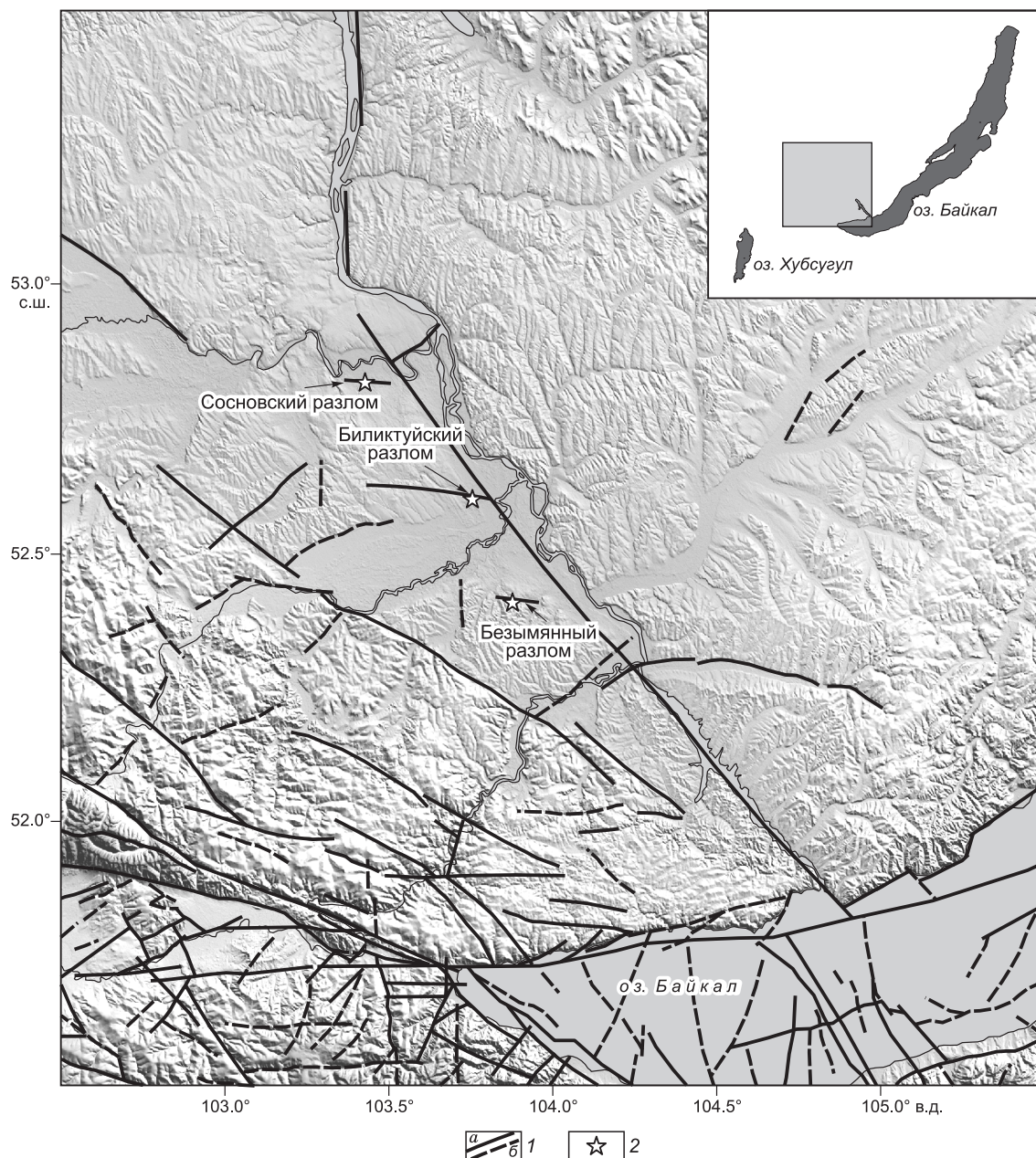


Рис. 1. Цифровая модель рельефа и схема активных разломов Иркутского амфитеатра.

На врезке показано местоположение района исследований. 1 — разломы, по [Лунина и др., 2010] (а — достоверные, б — предполагаемые); 2 — местоположение каналов, вскрывших зоны разломов.

Семинский и др., 2008]. Результаты работ 2006 г. в пределах рассматриваемой территории позволили выделить ряд новых структур, имеющих следы молодых сейсмогенных подвижек (рис. 1). Ниже представлены краткие характеристики изученных разломных зон, обозначенных в тексте в соответствии с рабочей документацией.

СЕЙСМОГЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЮГА ИРКУТСКОГО АМФИТЕАТРА

Сосновский разлом. Разлом имеет субширотное простирание и прослеживается вдоль автодороги Белореченское—Сосновка. В пределах данного участка при геолого-структурных исследованиях была задокументирована зона повышенной трещиноватости в четвертичных песках, а вблизи пос. Сосновка предшествующими исследованиями была выявлена палеосейсмодислокация, свидетельствующая о произошедшем землетрясении послесартанского возраста с магнитудой до 6.5 [Чипизубов и др., 2001].

В канаве, пройденной для изучения выраженности зоны Сосновского разлома в позднекайнозойских рыхлых отложениях, были вскрыты переслаивающиеся разнозернистые и разноцветные пески с различными деформационными структурами. Прежде всего, это разрывные структуры (сколовые трещины) трех направлений. Судя по ориентировке и типам подвижек (правые взбрососдвиги северо-западного простирания, левые взбрососдвиги северо-восточного направления и трансформационные сдвиги субмеридионального направления), эти три разрывные системы представляют единый парагенезис нарушений, составляющих структуру взбросовой зоны широтной ориентации.

Помимо трещин, в канаве отмечены структурные формы сейсмогенного происхождения — сейсмиды. К таковым можно отнести волновые структуры, возникающие на границе разжиженных и неразжиженных отложений как отклик на прохождение сейсмических волн [Moretti et al., 1999]. Наряду с ними, наблюдаются микродайки, представленные трещинами отрыва, выполненными материалом нарушаемых ими осадков. При этом одна часть даек представлена инъекционными структурами, т.е. отражающими внедрение материала нижележащих слоев в вышележащие, а другая — нептуническими (заполненными отложениями вышележащих слоев). Подобное сочетание дислокаций, характеризующихся разнонаправленным движением материала, подчеркивает их вибрационное (сейсмогенное) происхождение, причем максимальное развитие микродаек наблюдается над положительными формами волновых структур, что характерно для сейсмидов [Montenat et al., 2007].

Из нижней части вскрытого разреза, на глубине 1.8 м в районе взбросового смещения была отобрана проба песка с включениями гумусированного вещества на радиоуглеродное датирование. Выполненный анализ позволил установить абсолютный возраст деформированных осадков, равный 4210 ± 40 лет. Это дает основание констатировать, что в зоне Сосновского разлома фиксируются следы палеоземлетрясения, произошедшего после указанного рубежа.

Биликтуйский разлом. Разлом характеризуется субширотной ориентировкой и располагается в правом борту р. Биликтуйка. В геоморфологическом отношении он выражен небольшим (5—7 м), но крутым уступом правого борта долины Биликтуйки. На склоне отчетливо видны ступени отседания и мелкие оползни, послужившие причиной искривления стволов деревьев и образования «пьяного» леса. Рядом с участком пересечения с трассой газопровода имеет место «висячий» поперечный распадок, наличие которого можно считать косвенным признаком достаточно быстрых (возможно импульсных) перемещений по разлому.

Строение осевой части разломной зоны было изучено в небольшой канаве, которая была пройдена (по проектной трассе газопровода) вкост простирания уступа и вскрыла серию сбросовых нарушений, смещающих коренные породы (юрские песчаники) и рыхлые отложения (элювиально-делювиальные дресвяники, супеси и пески, а также почвенно-растительный слой). Основной сместитель (аз. пад. $5^\circ \angle 85^\circ$) представлен грабенообразной структурой шириной до 1 м и глубиной более 1.5 м, выполненной дресвяным и песчаным материалом. Вертикальная амплитуда, определяемая по положению блоков песчаника в крыльях нарушения, составляет не менее 1.25 м. Ниже по склону наблюдаются еще два сбросовых сместителя с преимущественным падением на север (аз. пад. $345\text{—}355^\circ$) под углами $80\text{—}85^\circ$. По ним зафиксированы отчетливые смещения маркеров в слоях рыхлых отложений с амплитудой 0.5—0.6 м. Следует особо подчеркнуть, что данные разрывы затрагивают современный почвенный слой, в котором отмечены смещения от первых миллиметров до нескольких сантиметров. Кроме того, в центральной части и у подножия уступа вскрыты локальные надвиговые деформации, отражающие явления расседания и заваливания смещаемых блоков. В целом суммарная амплитуда зафиксированных сбросовых смещений по вскрытой зоне разлома составляет не менее 2.5 м, а с учетом высоты уступа может приближаться к 5 м (рис. 2). В пользу возможного импульсного характера движений по разлому свидетельствует наличие как минимум двух горизонтов погребенных почв на глубинах от 0.25 до 0.5 м. Этот

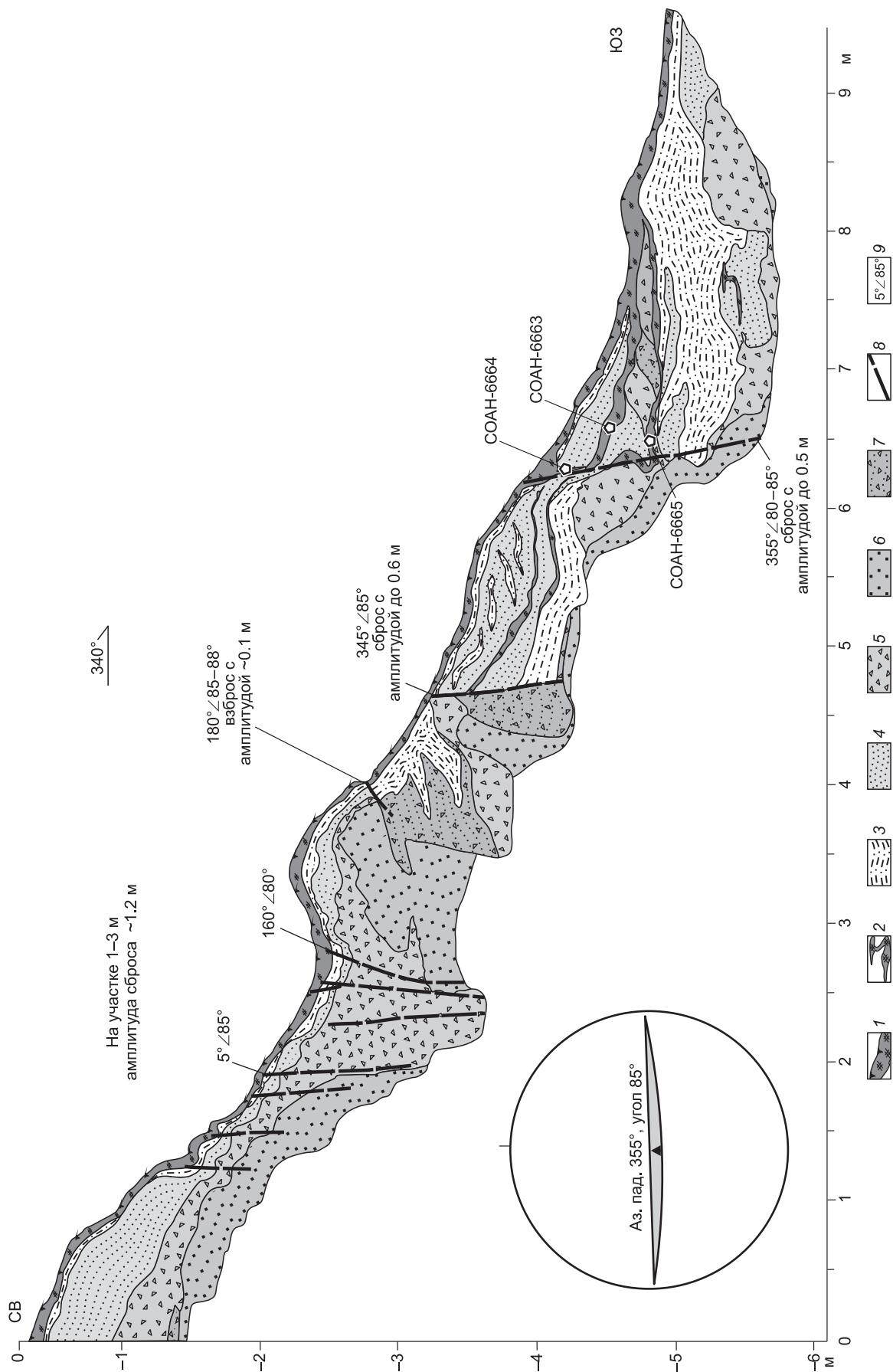


Рис. 2. Геологический разрез канавы 13-1, вскрывшей зону Биликуйского разлома в правом борту долины р. Биликуйка.

В левом нижнем углу показана диаграмма ориентировки вектора подвижки (стрелка) и плоскости Биликуйского разлома (залита серым цветом), установленных в результате документации канавы. 1 — почвенно-растительный слой, 2 — погребенная почва, 3 — супесь серая пылеватая, 4 — песок желтовато-серый, 5 — элювиально-делювиальные отложения, 6 — песчаники, 7 — дезинтегрированные отложения, 8 — разрывы, 9 — элементы залегания разрыва.

факт указывает на то, что разломный уступ, скорее всего, имеет сейсмогенный характер, а его формирование обусловлено несколькими подвижками.

Представленные данные свидетельствуют, что Биликтуйский разлом является высокоактивным сбросом, сместитель которого имеет аз. пад. $355^\circ \angle 85^\circ$. Перемещения по разломной зоне в позднекайнозойское время носили импульсный характер, причем амплитуды наиболее молодых подвижек в среднем составляли 0.5 м.

Безымянный разлом. Разлом характеризуется субширотной ориентировкой и приурочен к правому борту долины р. Черный Ключ в окрестностях автодороги Иркутск—Ангарск. В рельефе разлом выражен незначительным уступом. В канаве длиной 15 м, пройденной поперек уступа, были вскрыты переслаивающиеся супесчано-глинистые отложения, содержащие деформации, которые могут быть связаны с подвижками по сместителю Безымянного разлома.

Для верхней части разреза характерны изгибы слоев, резкие изменения их мощностей, а также смена типов отложений (белесо-серых суглинков на голубовато-серые глины) по мере приближения к основанию уступа. Вдоль верхнего контакта красновато-серых супесей, подстилающих глинистые отложения, проявлены пламенеvidные деформационные структуры, с высокой степенью вероятности имеющие сейсмогенное происхождение. Контакт существенно обводнен, а также содержит примазки нефти, причиной появления которой могли стать утечки из располагающегося рядом нефтепровода.

Эти косвенные признаки сложной динамической обстановки дополняются наличием серии сколовых разрывов, смещающих маркеры на первые десятки сантиметров по типу сброса. Наибольшее смещение (30 см) зафиксировано на разрыве с аз. пад. $5^\circ \angle 70^\circ$. Учитывая, что уступ, имея изогнутый в плане вид, в целом характеризуется субширотной ориентировкой и на востоке загибается к югу, эти элементы залегания (а также и тип подвижки) можно считать принадлежащими плоскости сместителя Безымянного разлома.

Полученные данные позволяют заключить, что деформации в данной разломной зоне имеют сейсмогенный генезис и связаны с землетрясениями позднекайнозойского возраста.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из изложенных материалов следует, что на изученной площади в отложениях позднего кайнозоя широко проявлены следы сейсмогенных деформаций. При этом максимальными смещениями и, следовательно, наибольшей активностью на современном этапе характеризуется зона Биликтуйского разлома. Соответственно, этот разлом вызывает наибольший интерес в аспекте дальнейшего изучения. Наличие горизонтов погребенных почв предполагает возможность получения радиоуглеродных дат импульсных подвижек по сместителю разлома. С этой целью на разных глубинах у подножия склона в точке с координатами 52.60738° с.ш., 103.73832° в.д. (район п. Тюменск, правый берег р. Биликтуйка) были отобраны три пробы погребенной почвы (см. рис. 2), обработанные Л.А. Орловой в лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск). Определение остаточной активности углерода выполнено на аппарате QUANTULUS (Liquid Scintillation Counters). Для расчета возраста использован период полураспада ^{14}C , равный 5570 лет, возраст рассчитан от 1950 г. Ниже приводятся краткая характеристика проб и полученные значения возраста.

Образец СОАН-6665. Погребенная почва, подножие склона, пролювиально-делювиальные отложения. Для датирования отобран нижний слой погребенной почвы; глубина отбора пробы 0.6 м. Полученное значение возраста 965 ± 50 лет.

Образец СОАН-6663. Погребенная почва, подножие склона, пролювиально-делювиальные отложения. Для датирования отобран средний слой погребенной почвы, содержащий включения древесного угля; глубина отбора пробы 0.4 м. Возраст 650 ± 45 лет.

Образец СОАН-6664. Погребенная почва, подножие склона, пролювиально-делювиальные отложения. Для датирования отобран верхний слой погребенной почвы; глубина отбора пробы 0.25 м. Возраст определен как «современный».

Последняя датировка (СОАН-6664) представляет особый интерес, поскольку отражает дату в пределах последних двух столетий. Это обстоятельство, в свою очередь, позволяет сопоставить результаты датирования с сейсмологическими данными об отмечавшихся в данном районе землетрясениях, а также сделать попытку связать последнюю подвижку по разлому с определенным сейсмическим событием.

Инструментальные данные о сейсмичности южной части Иркутского амфитеатра анализировались в работах [Голенецкий, 1997, 2001; Семинский, Радзиминевич, 2007]. По результатам этих исследований можно уверенно говорить о значительной засоренности каталогов землетрясений промышленными взрывами, что существенно искажает картину пространственного распределения естественной сейсмичности. Согласно С.И. Голенецкому [2001], естественная сейсмичность южной части Иркутского амфитеатра наиболее близко описывается распределением эпицентров землетрясений, происходивших

в ночное местное время в интервале от 20 до 8 ч (12—24 ч по Гринвичу). Если учитывать только такие события и считать их естественными, то по результатам публикаций [Голенецкий, 1997, 2001; Семинский, Радзиминович, 2007] можно отметить определенное тяготение эпицентров к долине Ангары, что свидетельствует о современной активности расположенных здесь разломов. Тем не менее инструментальных данных для получения исчерпывающих выводов недостаточно. Период действия региональной сети сейсмических станций в Прибайкалье сравнительно короток и насчитывает лишь 50 лет. Еще одной проблемой является энергетическая представительность землетрясений и точность определения координат их эпицентров. По состоянию на конец XX в. представительность сейсмических событий на интересующей нас территории характеризовалась энергетическим классом $K_p = 8$ ($M \sim 2$). В настоящее время после перевода региональных сейсмических станций на цифровую регистрацию ситуация улучшилась и теперь представительными являются события с $K_p = 7$ ($M \sim 1.7$) [Мельникова и др., 2009]. Точность локализации эпицентров оценивается в ± 3 —5 км. Таким образом, из анализа выпадают слабые события с $K_p < 7$ ($M < 1.7$), которые, возможно, помогли бы трассировать современные активные структуры. Данная проблема может быть решена только путем расширения сети цифровых сейсмических станций на юге Иркутского амфитеатра.

Значительные землетрясения в течение инструментального периода наблюдений в районе зоны Биликтуйского разлома не регистрировались (рис. 3). В связи с этим возникает необходимость обратиться к историческим сведениям о сейсмических проявлениях в пределах южной части Иркутского амфитеатра. Публикаций, затрагивающих тему исторической сейсмичности юга Сибирской платформы, на сегодняшний день сравнительно немного. Наиболее известна сводка С.И. Голенецкого [1999], однако в ней отсутствуют какие-либо сведения о землетрясениях с эпицентрами, близкими к зоне Биликтуйского разлома. Тем не менее в настоящее время известно сейсмическое событие с параметрами, приемлемыми

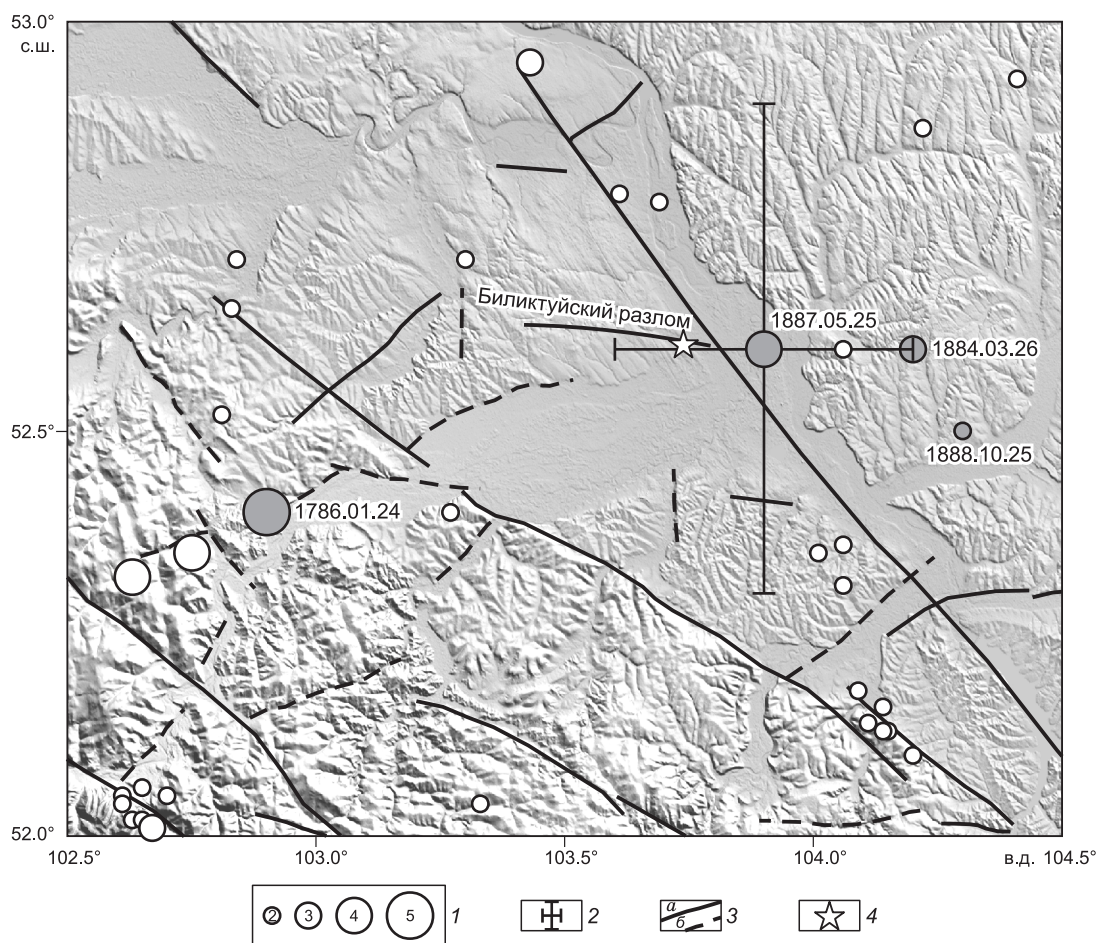


Рис. 3. Сейсмичность района расположения Биликтуйского разлома.

1 — эпицентры землетрясений (серые — исторические события с указанием даты, белые — инструментально зарегистрированные события); цифры внутри кружков означают магнитуду события; 2 — область ошибок определения координат исторического землетрясения 25 мая 1887 г.; 3 — активные разломы, по [Лунина и др., 2010] (*a* — достоверные; *b* — предполагаемые); 4 — местоположение канавы, вскрывшей Биликтуйский разлом.

для сравнения с данными о Биликтуйском разломе. Речь идет о землетрясении 25 мая 1887 г. Это событие детально описано и параметризовано в работе [Радзиминович, Щетников, 2008]. Первые упоминания об этом землетрясении содержатся в «Летописи города Иркутска», составленной Н.С. Романовым и опубликованной лишь в 1993 г., спустя полвека после смерти автора [Романов, 1993]. Предпринятые поиски дополнительной информации позволили обнаружить несколько сообщений, касающихся землетрясения 25 мая 1887 г., на страницах региональной периодической печати за 1887 г. В итоге, на основании макросейсмических данных для четырех пунктов, были определены ориентировочные параметры события: координаты эпицентра $52.6^{\circ}(\pm 0.3^{\circ})$ с.ш., $103.9^{\circ}(\pm 0.3^{\circ})$ в.д.; магнитуда $M = 4.2(\pm 0.2)$. Глубину гипоцентра с достаточной точностью оценить едва ли возможно, однако можно предполагать, что очаг залегал в пределах земной коры. Точка, принятая за макросейсмический эпицентр землетрясения, расположена всего лишь в 11 км от места отбора проб погребенной почвы на датирование. В свою очередь, место, где проводились документирование канавы и отбор проб, лежит в пределах области ошибок определения эпицентра, а характеристика возраста верхнего слоя погребенной почвы («современный» возраст) хорошо согласуется с датой землетрясения.

Поверхностное разрывообразование обычно наблюдается при сильнейших землетрясениях, однако в определенных условиях оно может быть обусловлено также и низкомagnitudeными событиями. Так, например, небольшое праводвиговое смещение (1.5 см) по Императорскому разлому (Калифорния, США) было зафиксировано при землетрясении с $M = 3.6$ 4 марта 1966 г. [Brune, Allen, 1967]. В этом же районе 23 января 1975 г. при сильнейшем толчке ($M = 4.7$) роевой последовательности землетрясений зарегистрировано вертикальное смещение величиной около 0.2 м [Sharp, 1976]. Кроме того, имеются данные о сбросовых и сбрососдвиговых смещениях с амплитудами до 0.1 м в результате землетрясений с $M = 4.6$ — 4.9 в Колумбии и Перу [Wells, Coppersmith, 1994]. Приведенные данные позволяют допустить, что малоамплитудное смещение (0.2—0.25 м), наблюдаемое в зоне Биликтуйского разлома, также может быть результатом землетрясения с $M = 4.2$ — 4.4 .

Можно также допустить, что наблюдаемые смещения на поверхности могли возникнуть при сейсмогенной активизации оползневых масс. В условиях подготовленности оползня, особенно если его стенка отрыва заложена по плоскости сместителя разлома, в качестве провоцирующего фактора может выступить землетрясение даже с небольшой или умеренной магнитудой. В рассматриваемом нами случае вертикальное смещение по морфологическим признакам может быть интерпретировано либо как сброс, либо как небольшой сейсмогенный оползень, возникший в результате землетрясения 25 мая 1887 г.

Таким образом, есть основания предполагать связь между очагом исторического землетрясения 25 мая 1887 г. и зоной Биликтуйского разлома (см. рис. 3). По всей вероятности, этот разлом способен генерировать достаточно сильные землетрясения, что в течение последнего тысячелетия происходило как минимум трижды. Соответственно, событие 25 мая 1887 г. не стоит рассматривать как показатель максимального сейсмического потенциала разлома. Особо следует отметить, что, несмотря на близость предполагаемого эпицентра к сместителю Ангарского разлома (см. рис. 3), в настоящее время нет данных, позволяющих связывать землетрясение 25 мая 1887 г. с зоной этого тектонического нарушения, хотя полевые наблюдения выполнялись нами также и в долине Ангары.

В пользу того, что в пределах окраины Сибирской платформы возможны и более сильные события, свидетельствуют как инструментальные сейсмологические данные, так и результаты сейсмогеологических исследований. Сильнейшим инструментально зарегистрированным землетрясением на Сибирской платформе является событие 8 октября 1974 г. ($M = 5.2$), произошедшее в районе Приленского плато [Голенецкий, 1977]. Сходными значениями магнитуд характеризовались некоторые исторические события рассматриваемого района, представленные в сводке [Голенецкий, 1999]. Что касается палеоземлетрясений Сибирской платформы, то их магнитуды, согласно данным А.В. Чипизубова с соавторами [2001] и А.Н. Овсяченко с коллегами [2007], могли достигать значений 6.0—6.5. Возможность сильных землетрясений в краевых частях платформы косвенно подтверждается тем, что сейсмическая активность окраины платформы генетически связана с процессами, протекающими в Байкальской рифтовой зоне [Семинский, Радзиминович, 2007]. Скорость расхождения берегов оз. Байкал в его южной части, согласно данным GPS-измерений, достигает 3 мм/год [Лухнев и др., 2010; Ашурков и др., 2011]. Накапливающиеся в результате рифтовых процессов напряжения, по-видимому, распространяются на край платформы и могут реализовываться в виде сильных сейсмических событий, хотя и намного реже, чем непосредственно в рифте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье представлены новые материалы, свидетельствующие о наличии активной тектоники в пределах южной окраины Сибирской платформы и дополняющие предыдущие исследования, проводившиеся здесь на протяжении последних полутора десятков лет.

Результатом наших исследований стало выявление на основании сейсмогеологических данных ранее неизвестного разлома и подтверждение его активности с помощью историко-сейсмологической информации. Подобная возможность в условиях Южного Прибайкалья представляется нечасто, поскольку, во-первых, на сегодняшний день известны и тем более документированы далеко не все активные разломы, и, во-вторых, существующие каталоги землетрясений, прежде всего исторических, нуждаются в уточнении и дополнении [Радзиминович, Щетников, 2011].

Таким образом, можно говорить о необходимости дальнейшего поиска и картирования активных структур на Сибирской платформе, равно как и сведений об ощутимых землетрясениях, происходивших в доинструментальный период наблюдений. Высокие оценки значений магнитуд палеоземлетрясений, каковые приводятся в работах [Чипизубов и др., 2001; Овсяченко и др., 2007], заставляют относиться к вопросам сейсмической опасности Сибирской платформы с большим вниманием, чем было принято еще недавно. В этой связи выявление платформенных зон возможных очагов землетрясений необходимо для более уверенного выполнения работ по уточнению сейсмической опасности и сейсмическому районированию этой важной в экономическом и хозяйственном отношении территории.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (контракт № 8316) и РФФИ (грант 10-05-00072).

ЛИТЕРАТУРА

Аржанникова А.В., Аржанников С.Г. Проявления новейших тектонических деформаций на юге Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (3), с. 273—279.

Ашурков С.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Лухнев А.В., Сорокин А.П., Серов М.А., Бызов Л.М. Кинематика Амурской плиты по данным GPS-геодезии // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (2), с. 299—311.

Гладков А.С., Семинский К.Ж. Нетрадиционный анализ поясов трещиноватости при картировании субгоризонтальных разломных структур (на примере окрестностей Иркутска) // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (2), с. 213—220.

Гладков А.С., Лунина О.В. Трещины в позднекайнозойских отложениях: новые возможности для структурного анализа // Докл. РАН, 2004, т. 398, № 6, с. 782—785.

Гладков А.С., Черемных А.В., Лунина О.В. Деформации юрских отложений южной окраины Иркутского амфитеатра // Геология и геофизика, 2000, т. 41 (2), с. 220—226.

Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья // Землетрясения в СССР в 1974 г. М., Наука, 1977, с. 114—127.

Голенецкий С.И. Вопросы наведенной сейсмичности в районе Иркутского водохранилища у юго-западной оконечности озера Байкал // Геология и геофизика, 1997, т. 38 (10), с. 1692—1698.

Голенецкий С.И. Редкое землетрясение на юге Сибирской платформы // Докл. РАН, 1998, т. 363, № 3, с. 392—395.

Голенецкий С.И. Сводка макросейсмических данных о землетрясениях на юге Сибирской платформы // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (8), с. 1245—1250.

Голенецкий С.И. Землетрясения юга Сибирской платформы по инструментальным сейсмологическим наблюдениям // Вулканология и сейсмология, 2001, № 6, с. 68—77.

Лунина О.В., Гладков А.С., Шерстянкин П.П. Новая электронная карта активных разломов юга Восточной Сибири // Докл. РАН, 2010, т. 433, № 5, с. 662—667.

Лухнев А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В., Кале Э. Вращения и деформации земной поверхности в Байкало-Монгольском регионе по данным GPS-измерений // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (7), с. 1006—1017.

Мельникова В.И., Гилева Н.А., Радзиминович Н.А., Масальский О.К., Чечельницкий В.В. Сейсмичность Байкальской рифтовой зоны за период цифровой регистрации землетрясений (2001—2006 гг.) // Вопросы инженерной сейсмологии, 2009, т. 36, № 1, с. 40—55.

Овсяченко А.Н., Шварев С.В., Мараханов А.В. Активные разломы и палеосейсмогеология центральной части Иркутского амфитеатра // Геофизические исследования, 2007, вып. 7, с. 74—90.

Радзиминович Я.Б., Щетников А.А. Сейсмическая активность южной окраины Сибирской платформы в историческом прошлом: новые данные // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (9), с. 926—938.

Радзиминович Я.Б., Щетников А.А. Каталоги исторических землетрясений Восточной Сибири: необходимость ревизии // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (7), с. 931—939.

Романов Н.С. Летопись города Иркутска за 1881—1901 гг. Иркутск, Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1993, 544 с.

Саньков В.А., Парфеев А.В., Мирошниченко А.И., Бызов Л.М., Лебедева М.А. О сопряженности позднекайнозойского разломообразования краевой части Сибирской платформы и Байкальского рифтогенеза // Докл. РАН, 2008, т. 419, № 6, с. 799—803.

Семинский К.Ж., Радзиминович Я.Б. Сейсмичность юга Сибирской платформы: пространственно-временная характеристика и генезис // Физика Земли, 2007, № 9, с. 18—30.

Семинский К.Ж., Гладков А.С., Лунина О.В. Тектонофизическая характеристика зоны Ангарского разлома (юг Сибирской платформы) // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (8), с. 1260—1270.

Семинский К.Ж., Гладков А.С., Радзиминович Я.Б., Черемных А.В., Бобров А.А. Закономерности проявления активных разломов и сейсмичности на юге Сибирской платформы // Докл. РАН, 2008, т. 422, № 4, с. 516—521.

Чипизубов А.В. Сильные исторические землетрясения юга Сибирской платформы // Геологическая среда и сейсмический процесс. Иркутск, ИЗК СО РАН, 1997, с. 168—169.

Чипизубов А.В. Сильные землетрясения Прибайкалья по макросейсмическим данным // Вопросы инженерной сейсмологии, 2009, т. 36, № 2, с. 31—46.

Чипизубов А.В., Аржанникова А.В., Воробьева Г.А., Бердникова Н.Е. Погребенные палеосейсмодислокации на юге Сибирской платформы // Докл. РАН, 2001, т. 379, № 1, с. 101—103.

Brune J.N., Allen C.R. A low-stress-drop, low-magnitude earthquake with surface faulting: the Imperial, California, earthquake of March 4, 1966 // Bull. Seismol. Soc. America, 1967, v. 57, № 3, p. 501—514.

Gladkov A.S., Lunina O.V. Seismites of the Southern East Siberia: research problems and perspectives // Geodyn. Tectonophys., 2010, v. 1, № 3, p. 249—272, doi:10.5800/GT-2010-1-3-0020.

Montenat C., Barrier P., d'Estevou P.O., Hibsich C. Seismites: an attempt at critical analysis and classification // Sedim. Geol., 2007, v. 196, № 1—4, p. 5—30, doi:10.1016/j.sedgeo.2006.08.004.

Moretti M., Alfaro P., Caselles O., Canas J.A. Modelling seismites with a digital shaking table // Tectonophysics, 1999, v. 304, № 4, p. 369—383, doi:10.1016/S0040-1951(98)00289-3.

Sharp R.V. Surface faulting in Imperial Valley during the earthquake swarm of January-February, 1975 // Bull. Seismol. Soc. America, 1976, v. 66, № 4, p. 1145—1154.

Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement // Bull. Seismol. Soc. Amer., 1994, v. 84, № 4, p. 974—1002.

*Рекомендована к печати 16 февраля 2012 г.
В.С. Селезевым*

*Поступила в редакцию
8 августа 2011 г.*