

РАЗЛОМЫ И СЕЙСМИЧНОСТЬ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ НА РАЗНЫХ МАСШТАБНЫХ УРОВНЯХ

К.Ж. Семинский*, **А.С. Гладков***, **А.Г. Вахромеев****,
А.В. Черемных*, **А.А. Бобров***, **Е.И. Когут***

**Институт земной коры СО РАН*

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

E-mail: seminsky@crust.irk.ru

***Восточно-Сибирская газовая компания*

664033, г. Иркутск, ул. Байкальская, 279, офис 801

Поступила в редакцию 31 марта 2008 г.

Анализ данных о проявлении разломов в рельефе, распределениях землетрясений и аномально высоких пластовых давлений позволил установить, что южная часть Сибирской платформы активизирована на современном этапе тектогенеза в связи с деструкцией литосферы в Саяно-Байкальском подвижном поясе. Активизация не сопоставима по интенсивности с характерной для Байкальского рифта, но распространяется на сотни километров вглубь кратона, отличаясь неравномерностью как в масштабах всего Иркутского амфитеатра, так и в пределах разноранговых разломных зон. Отдельные разломы краевой полосы (150-300 км) представляют сгущения разрывов 2-го порядка, что на самом высоком иерархическом уровне в позднекайнозойских осадках отражается в виде нарушенных и проницаемых для радона зон, степень активности которых (низкая–средняя–высокая) определяется полнотой проявления зональности: периферийная подзона системных трещин отрыва–подзона отрывов и сколов–осевая подзона сколовых разрывов со смещениями до десятков сантиметров.

Ключевые слова: *Сибирская платформа, сейсмичность, разломы, трещины, радон, активность.*

FAULTS AND SEISMICITY OF THE SOUTH OF SIBERIAN PLATFORM: FEATURES OF DISPLAY AT DIFFERENT SCALE LEVELS

K.Zh. Seminsky*, **A.S. Gladkov***, **A.G. Vakhromeev****,
A.V. Cheremnykh*, **A.A. Bobrov***, **E.I. Kogut***

**Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS*

***Eastern-Siberian Gas Company*

The analysis of the fault effect on a relief, earthquakes distribution and occurrence of abnormal high formational pressure has allowed to establish, that the southern part of the Siberian platform is made active at the recent stage of tectonogenesis in connection with lithosphere destruction of the Sayan-Baikal mobile belt. Activization is not comparable on intensity with one of Baikal rift, but it extends on hundreds kilometers into craton and is characterized by non-uniformity both in all Irkutsk amphitheater scale and within different rank fault zones. The separate faults of the margin strip (150-300 km) are represented by the thickening of the 2-nd order faults, that in the highest hierarchical level in the latest Cenozoic deposits are reflected in the form of disturbed and radon permeable zones, which activity degree (low–middle–high) is defined by completeness of zonation: a peripheral subzone of system extension fractures–a subzone of extension and shear fractures–an axial subzone of shear fractures with displacement up to tens centimeters.

Key words: *Siberian platform, seismicity, faults, fractures, radon, activity.*

Введение

Как известно, главная трудность проведения геодинамических реконструкций для платформенных территорий заключается в слабой интенсивности протекающих в их пределах тектонических процессов, результаты действия которых зачастую трудно выделить из широкой гаммы сопутствующих явлений, обусловленных регмагенезом, экзодинамикой, техногенными и другими факторами. Все это в полной мере относится к проявлению наиболее молодых разломов, а также сопровождающей их развитие сейсмичности, информация о которых является необходимой для решения ключевых вопросов современной геодинамики в любом регионе.

Проявления сейсмической активности неизменно обнаруживаются на платформах в случае проведения целенаправленных исследований [Морозов и др., 2001], но углубленному анализу землетрясений, как правило, препятствует отсутствие достаточного количества инструментальных данных. Разломы, активные в течение последних десятков тысяч лет, при сравнительно медленных тектонических перемещениях на платформах редко проявляются на поверхности в виде разрывных смещений. В подавляющем большинстве случаев блоки контактируют по, хотя и протяженным, но широким зонам повышенной концентрации трещин и более крупных разрывов, которые ряд исследователей [Макаров, 1997; Хайме, 2000] предлагают называть не разломами, а по-разному характеризуемыми зонами (ослабленными, геодинамическими, повышенной трещиноватости и т.п.).

В связи с перечисленными трудностями, наиболее обоснованными представляются те закономерности новейшего тектогенеза на древних платформах, которые были установле-

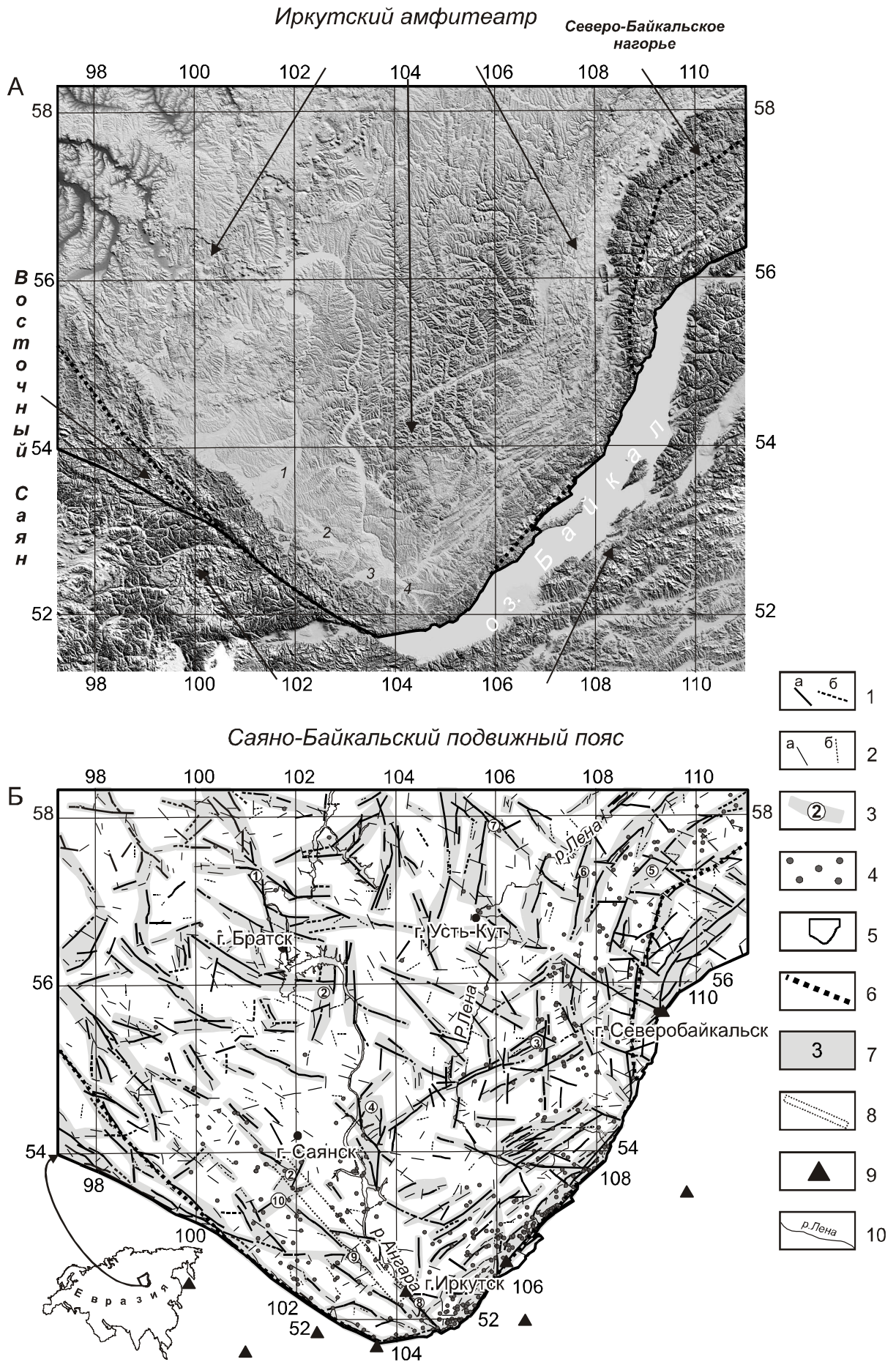
ны при последовательном рассмотрении проявлений деструктивного процесса по мере продвижения вглубь от их границ с подвижными поясами. Так, результаты исследований, проведенных для Восточно-Европейской платформы [Камалетдинов и др., 1981; Попков, 1991; Современная..., 1991; Кропоткин, Ефремов, 1993; Леонов, 1995; Трифионов, 1999; Леонов и др., 2001; Никонов и др., 2001; Щукин, 2001; Копп, 2004, и др.] в целом показали, что силы бокового сжатия, возникающие при взаимодействии крупнейших блоков литосферы, оказывают определяющее влияние на характер внутриплатформенных деформаций. Сейсмичность и разломы Сибирского кратона, несмотря на его существенную для древних платформ активность на новейшем этапе тектогенеза [Новейшая..., 1985], значительно менее изучены, что и послужило причиной осуществления наших исследований. Они проведены на юге платформы, в пределах Иркутского амфитеатра (рис. 1А), территория которого, ввиду интенсивного народно-хозяйственного освоения, более других пригодна для осуществления комплексных работ по выявлению разломов и анализу распределения землетрясений, зафиксированных сетью прибайкальских сейсмостанций.

Следует отметить, что проведенный впервые С.И. Голенецким [1997, 2001] целенаправленный анализ инструментальной сейсмичности Иркутского амфитеатра позволил классифицировать территорию как область со слабой (по краям – умеренной), но собственной сейсмичностью. При этом предполагалось, что сгущение эпицентров у краев платформы в значительной степени обусловлено поясовым расположением сети регистрирующих станций (рис. 1Б). Кроме того, не было обнаружено связи в локализации отдельных землетрясений или их скопления с тектоническим строением плат-

Рис. 1. Цифровая модель рельефа (А) и схема линеаментов (Б) для территории юга Сибирской платформы.

1 – крупные линеаменты, выраженные: отчетливо (а) и менее отчетливо (б); 2 – то же для мелких линеаментов; 3 – зоны сгущения субпараллельных линеаментов, в т.ч. совпадающие с сегментами известных для данной территории разломов (по [Карта..., 1988]), обозначенных цифрами в кружках: 1 – Окино-Вихоревский, 2 – Окино-Катангский, 3 – Жигаловский, 4 – Каймоново-Кутский, 5 – Киткано-Джербинский, 6 – Киренско-Джербинский, 7 – Марковский, 8 – Ангарский, 9 – Аларь-Бельский; 4 – положение эпицентров землетрясений, произошедших на платформе ночью в период с 1960 по 2005 г.; 5 – район исследований; 6 – положение краевого шва платформы по [Замараев, 1967]; 7 – некоторые впадины Присаянья (1 – Окинская, 2 – Голуметская, 3 – Китойская, 4 – Иркут-Ушаковская) 8 – профиль детальных исследований разломов; 9 – положение сейсмостанций; 10 – гидросеть.

РАЗЛОМЫ И СЕЙСМИЧНОСТЬ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ



формы, в т.ч. и с разломами. Что же касается самих позднекайнозойских разрывов, то они в силу слабой тектонической активности и неудовлетворительной обнаженности горных пород региона были зафиксированы лишь в отдельных местах обширной территории Иркутского амфитеатра [Карта..., 1979; Карта..., 1988].

Современный этап исследований разломов юга Сибирской платформы связан с обнаружением А.С. Гладковым с соавторами [Гладков и др., 2000, 2004; Гладков, Лунина, 2004], а затем и другими исследователями [Семинский и др., 2001, 2005; Чипизубов и др., 2001; Аржанникова, Аржанников, 2005; Саньков и др., 2006] разрывных нарушений слабосцементированных отложений, обусловленных позднеплейстоцен-голоценовыми тектоническими подвижками в зонах влияния Ангарского и других платформенных дизъюнктивов. При этом некоторые из разрывных деформаций [Чипизубов и др., 2001] классифицировались как образовавшиеся вследствие достаточно сильных землетрясений ($M = 6,5$). Вместе с тем, процесс деструкции, связанный с развитием в позднем кайнозое Саяно-Байкальского подвижного пояса, должен охватывать платформу в значительно большей степени, чем это выявлено предшественниками. Действительно, несмотря на то, что краевой шов платформы выделяется во многих местах как резкая граница в полях распределения разломов и землетрясений, вся рас-

сматриваемая территория Иркутского амфитеатра относится к Прибайкальской предрифтовой переходной зоне [Золотарев, Савинский, 1978; Карта..., 1979]. Свидетельствами тектонической активности в ее пределах являются существенная расчлененность рельефа [Карта..., 1979], рассеянная сейсмичность [Золотарев, Савинский, 1978; Голенецкий, 1997, 2001], данные геофизики о наличии на поверхности фундамента горстообразных выступов с амплитудами до 1,5 км [Мандельбаум и др., 1999] и другие факторы.

Таким образом, целью проведенных исследований было выявление главных особенностей активизации земной коры Иркутского амфитеатра на основе анализа распределений землетрясений и новейших разломов с акцентом на характере их проявления в течение последнего отрезка геологической летописи (поздний плейстоцен-голоцен).

В ходе исследования был реализован комплекс разнотипных методов, особенности которых будут рассмотрены ниже при описании отдельных видов работ. Здесь лишь следует отметить, что главными составляющими методического комплекса, кроме традиционных способов изучения сейсмичности, были линейный анализ цифровых моделей рельефа, структурно-геологические и геоморфологические исследования разной степени детальности, эманационная радоновая съемка и документи-

Рис. 2. Распределения линеаментов и сейсмической активности в поле Иркутского амфитеатра.

А. Схема пространственного распределения плотности линеаментов в изолиниях, построенная с использованием окна палетки размером $0,5 \times 0,5^\circ$.

Б. График распределения величин плотности, использованных для построения схемы А и характеризующихся преобладанием значений равных 8.

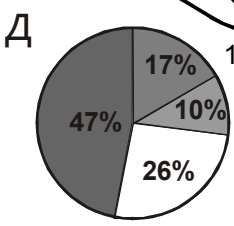
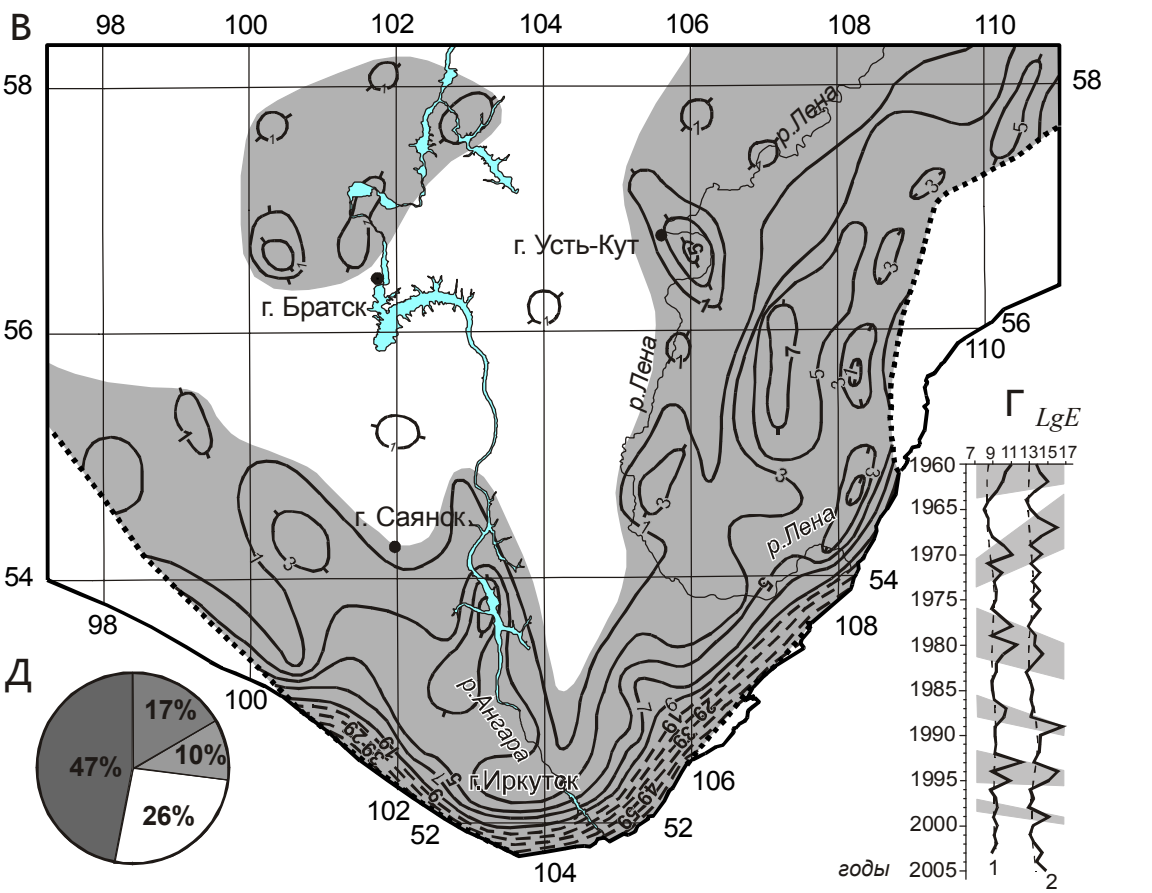
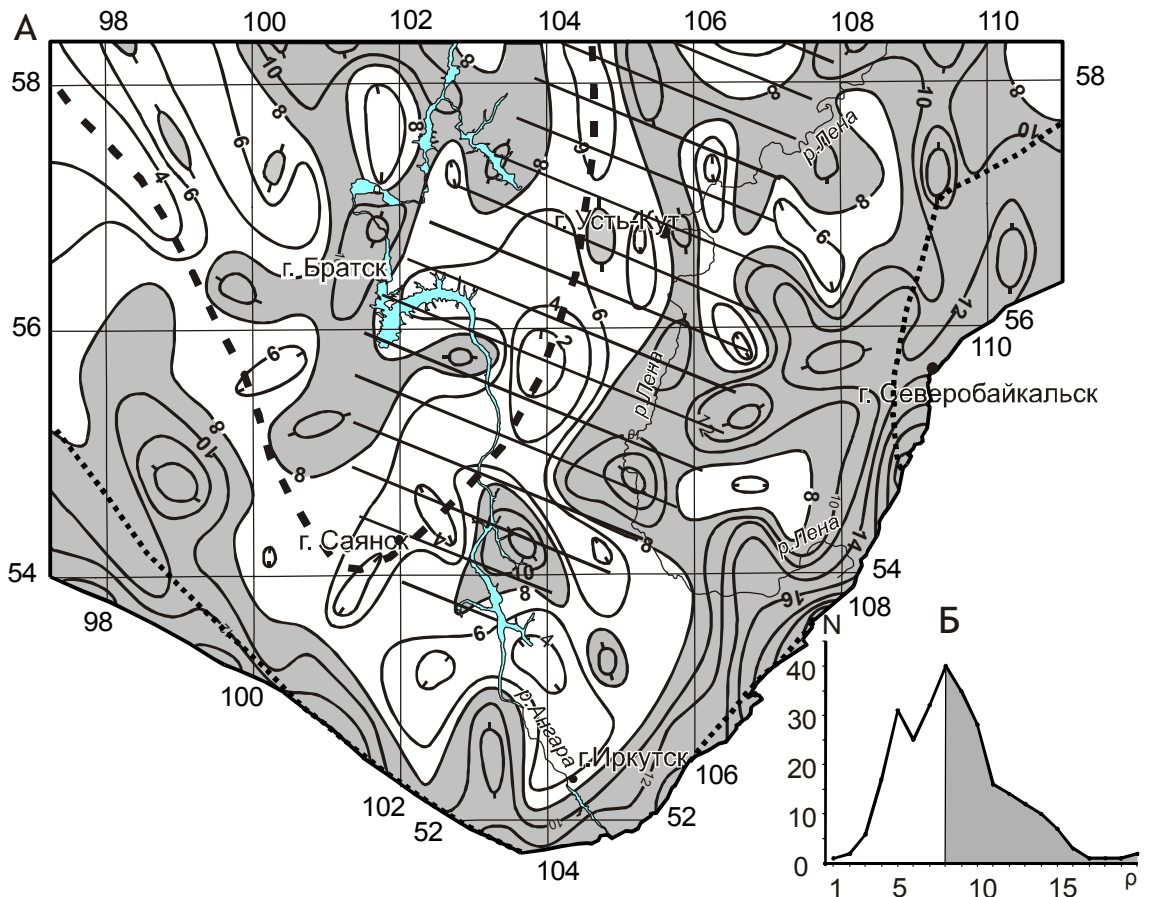
В. Схема распределения плотности эпицентров ночных землетрясений в изолиниях (размер окна палетки – $0,5 \times 0,5^\circ$).

Г. Графики изменения во времени логарифма суммарной энергии ночных землетрясений (IgE), происшедших за год на платформе (1) и событий, имевших место южнее ее краевого шва в Саяно-Байкальском сейсмическом поясе (2), с ограничением на западе и востоке по меридианам 99 и 112 (полосы серого цвета – примерно совпадающие по времени периоды активизации сейсмического процесса на платформе и в сейсмическом поясе).

Д. Секторная диаграмма, отражающая процентные соотношения эпицентров ночных землетрясений, локализующихся в линеаментных зонах (47 %), располагающихся на их ближайшем продолжении (17 %), находящихся в пределах блоков (26 %) и локализующихся в блоках, но в непосредственной близости от отдельных линеаментов (10 %).

1 – изолинии плотности, проведенные с шагом 2; 2 – изолинии плотности, проведенные с шагом 10; 3 – территории с плотностью линеаментов, превышающей 8 (для рис. А) и участки распространения эпицентров землетрясений, зафиксированных инструментально на платформе в ночное время (для рис. Б); 4 – положение краевого шва платформы; 5 – ось полосы минимального распространения плотности линеаментов, разделяющей участки их повышенной плотности; 6 – участок проявления аномально высоких поровых давлений; 7 – район исследований; 8 – гидросеть.

РАЗЛОМЫ И СЕЙСМИЧНОСТЬ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ



рование непротяженных горных выработок. В итоге проведения работ была получена возможность проанализировать, во-первых, пространственные взаимоотношения тектонических нарушений и эпицентров землетрясений для юга Сибирской платформы в целом, а во-вторых, особенности внутреннего строения позднеплейстоцен-голоценовых разломов на разных масштабных уровнях их проявления в осадочном чехле на примере профиля г. Иркутск – г. Саянск (рис. 1Б).

Закономерности распределения разломов и землетрясений в поле Иркутского амфитеатра

Исследование позднекайнозойских разломов на основе изучения цифровой модели рельефа проводилось в первую очередь, т.к. существующие карты и схемы нарушенности земной коры юга Сибирской платформы зачастую мало информативны или характеризуются отсутствием единообразия критериев выделения разрывов. Тектонические нарушения в поле Иркутского амфитеатра не зафиксированы на большинстве из них, включая и известные карты [Карта..., 1979; Карта..., 1988], где активные в новейшее время разломы развиты главным образом вблизи краевого шва платформы, а информация о положении других дизъюнктивов взята у разных авторов, пользовавшихся для их выделения геологическими, геофизическими и другими методами.

Линеаментный анализ был проведен по цифровой модели (созданной посредством использования ГИС-технологий на основе дистанционных материалов типа SRTM с разрешением до 90 м), которая позволила изучить как топографическое, так и объемное (рис. 1А) изображение рельефа Иркутского амфитеатра. При этом выявлялись только те линеаменты, которые наиболее часто отражают положение активных в новейшее время разломов: прямолинейные или слабо изогнутые уступы, спрямленные отрезки долин, некоторые виды линейно-эрозионных форм.

На составленной для площади амфитеатра схеме (рис. 1Б) представлены линеаменты с длиной более 5 км. Они широко распространены в пределах платформы и часто группируются в линейно вытянутые или изогнутые в плане зоны с длиной и шириной, достигающих, соответственно, 230 и 30 км. Между зонами

располагаются более крупные по размерам участки, характеризующиеся различной формой и существенно меньшей концентрацией, как правило, разноориентированных и непротяженных линеаментов. Несмотря на то, что зоны в редких случаях оконтуривают эти участки со всех сторон, представленная картина, скорее всего, отражает зафиксированный во многих платформенных регионах тип делимости земной коры, когда ее блоки контактируют по разнотипным зонам (разломным, повышенной трещиноватости, флексурно-разрывным, геодинамической активности и т.п.) [Савинский, Мордовская, 1971; Николаев, Наймарк, 1979; Современная..., 1991; Леонов, 1995; Никонов и др., 2001; Щукин, 2001, и др.].

В самой краевой части платформы линеаментные зоны во многих местах совпадают с положением выявленных ранее разломов [Карта..., 1979; Карта..., 1988], что подтверждает известные представления о существовании единой сети тектонических нарушений, связанных с краевым швом [Замараев, 1967], и свидетельствует о принадлежности выделенных зон к дизъюнктивным структурам. Последний вывод можно отнести и к центральной части Иркутского амфитеатра, но с меньшей долей уверенности: известные для данной территории протяженные разломы (Окино-Вихоревский, Окино-Катангский, Жигаловский, Каймоново-Кутский, Марковский, Аларь-Бельский и др.) выражаются линеаментными зонами, как правило, на отдельных участках (рис. 1Б). Это вряд ли отражает фрагментарное подчеркивание отдельных сегментов разломных зон экзогенными процессами, а, скорее, обусловлено избирательной активизацией в новейшее время, связанной с особенностями условий деформирования земной коры рассматриваемого платформенного региона. Линеаментные зоны существенно более распространены вблизи границы с подвижным поясом, где самые протяженные из них субпараллельны его сегментам: северо-западному – Саянскому, северо-восточному – Байкальскому и дугообразному (на площади исследования – субмеридиональному) – Патомскому (рис. 1Б).

Представленные закономерности проявляются и на карте плотности линеаментов (рис. 2А), построенной с использованием палетки осреднения размером $0,5 \times 0,5^\circ$. Значения плотности, превышающие наиболее часто встречающуюся величину 8 (рис. 2Б), в первом приближе-

нии образуют на территории Иркутского амфитеатра два крупных участка. Большой из них вытягивается полосой вдоль всей краевой части платформы и в целом характеризуется уменьшением параметра от границ к центру амфитеатра. Ширина западной (присаянской) части полосы – не более 150 км, тогда как восточная (прибайкало-патомская) часть с учетом отдельных минимумов параметра достигает 300 км. Отмеченные закономерности свидетельствуют о генетической связи рассматриваемого участка с процессами деструкции в Саяно-Байкальском подвижном поясе и, в совокупности с уже отмеченными признаками, – о разломной природе большинства выявленных линеаментов.

Второе поле повышенной плотности спрямленных элементов рельефа в первом приближении изометрично и располагается на северо-западе изучаемой территории (рис. 2А). Оно отделяется от первого участка полосой с низкой плотностью линеаментов, осевая линия которой проходит по серии минимумов рассматриваемой величины (рис. 2А). Установленная особенность не предполагает обязательной связи северо-западного участка с автономным внутриплатформенным источником напряжений. Более того, в предыдущих публикациях [Вахромеев, 2006; Вахромеев, Сизых, 2006] было показано, что в пределах восточной ветви полосы пониженной плотности линеаментов существуют необходимые условия для реализации напряжений, трансформирующихся, к примеру, из области формирования Байкальского рифта.

Действительно, территория, располагающаяся между двумя участками повышенной плотности линеаментов, характеризуется массовыми проявлениями аномально высоких пластовых давлений (АВПД) в средней, галогенной формации осадочного чехла (рис. 2А). Как показал анализ данных глубокого бурения, АВПД и аномальные, до первых десятков тыс. м³/сут, притоки рассолов в пределах рассматриваемой территории приурочены к относительно небольшим по толщине коллекторам, представляющим субгоризонтальные интенсивно нарушенные прослои карбонатов в мощной солевой толще пород платформенного чехла [Вахромеев, 2006]. Поскольку высокие пластовые давления уменьшают эффективное напряжение, а, следовательно, по закону Кулона, и прочность пород на скалывание, подобные прослои являются зонами срывов [Hubbert, Rubey,

1959; Камалетдинов и др., 1981; Новосилецкий, 1989; Попков, 1991], которые в совокупности с субвертикальными сдвигами составляют известный платформенный парагенезис [Леонов, 1995; Архипов и др., 1996; Семинский, Гладков, 1997, и др.], обеспечивающий в пределах Иркутского амфитеатра возможность перемещения отдельных пластин и блоков чехла под действием тангенциальных сил [Сметанин, 2000; Сизых, 2001]. Существование в настоящее время аномальных пластовых давлений, невозможность их сохранности в породах нижнего кембрия более 3-5 тыс. лет [Анциферов, 1989] в совокупности с продолжающимся вплоть до современности ростом разноранговых валов и складок [Замараев, 1967; Дубровин, 1979; Анциферов, 1989; Сизых, 2001; Уфимцев и др., 2005, и др.] являются достаточно вескими аргументами в пользу гипотезы о наличии современной активности в пределах показанной на рис. 2А полосы распространения АВПД [Вахромеев, 2006].

Анализ сейсмологических данных был проведен с целью получения дополнительной информации о характере проявления современной тектонической активности на территории Иркутского амфитеатра. Использована инструментальная информация Байкальского Филиала Геофизической службы СО РАН о землетрясениях (рис. 1Б), произошедших на изучаемой платформенной территории в период 1960-2005 гг. ночью (с 12 до 24 часов по Гринвичу) и, таким образом, отражающих в целом разрядку естественных напряжений.

В первую очередь анализировались пространственные взаимоотношения конкретных линеаментных структур и эпицентров землетрясений, причем зоны линеаментов, трассирующие краевой шов платформы, исключались из рассмотрения как пограничные (рис. 1Б). Следует отметить, что сопоставление эпицентров и отдельных линеаментов в данном случае не имеет смысла из-за низкой (кроме последних лет) точности определения координат платформенных землетрясений (10-20 км). Сопоставление проводилось для линеаментных зон, что ввиду увеличения поперечных размеров объектов снижает вероятность ошибок и, таким образом, является существенно более информативным.

В итоге несложных подсчетов установлено, что из всех зафиксированных в ночное время на платформе сейсмических событий, 47 % землетрясений приурочено к линеаментным

зонам, 17 % – располагаются на их ближайшем продолжении, 26 % – имеют место в блоках, а 10 % – при локализации в блоке располагаются в непосредственной близости от отдельных линейных элементов, выявленных в его пределах (рис. 2Д). Почти двойное превышение величины, относящейся к зонам (47 %), над цифрой, соответствующей блокам (26 %), весьма существенно, особенно, если учесть различие в занимаемых ими площадях. Кроме того, велика вероятность увеличения первой цифры за счет тех событий, которые составляют величины 17 и 10 %. Таким образом, несмотря на низкую точность определения координат эпицентров, очевидно, что, как и для Восточно-Европейской платформы [Никонов и др., 2001; Копп и др., 2002], сейсмичность Иркутского амфитеатра обусловлена подвижками в разрывных зонах, причем последние отчетливо выявляются при анализе рельефа.

Данный вывод отчетливо согласуется с установленными нами ранее [Семинский, Радзиминович, 2007] закономерностями распределения землетрясений юга Сибирской платформы во времени и в пространстве. Как видно из построенной в изолиниях карты (рис. 2В), подавляющее большинство землетрясений локализуется в широкой (150-300 км) полосе рассеянной сейсмичности, приуроченной к южной границе Сибирской платформы. Интенсивность процесса на этой территории по целой серии параметров несоизмерима с располагающимся рядом сейсмоактивным Саяно-Байкальским подвижным поясом, а резкая граница между ними в эпицентральной зоне почти на всем протяжении совпадает с краевым швом платформы. Несмотря на это, сравнительный анализ пространственно-временных распределений ночных платформенных землетрясений и событий, зафиксированных южнее ее краевого шва, позволил выявить ряд закономерностей, подтверждающих представления о проникновении далеко вглубь кратона деформационных процессов, связанных с развитием Саяно-Байкальского пояса в настоящее время [Золотарев, Савинский, 1978].

Основные особенности пространственного (рис. 2В) и временного (рис. 2Г) распределений сейсмических событий Иркутского амфитеатра заключаются в следующем [Семинский, Радзиминович, 2007]: 1) полоса проявления платформенных землетрясений непосредственно примыкает к традиционно выделяемой северной границе Саяно-Байкальского сейсмического

пояса и повторяет ее очертания; 2) существует общая тенденция уменьшения плотности землетрясений от краевого шва вглубь платформы, на фоне которой имеет место чередование продольных полос пониженной и повышенной концентрации эпицентров, причем эта зональность закономерно распространяется в центральную часть Саяно-Байкальского пояса; 3) различия в интенсивности сейсмического процесса, свойственные западной и восточной ветвям пояса, в полной мере проявляются на платформе в виде узкой присаянской полосы рассеянной сейсмичности и широкой прибайкало-патомской части, характеризующейся наличием серии отчетливо выраженных скоплений эпицентров и участков их практически полного отсутствия; 4) на платформенной территории и в Саяно-Байкальском поясе имеет место аналогичный в качественном отношении вид временных вариаций сейсмической активности, выражающийся в наличии ее всплесков (1969-72, 1977-81, 1987-88, 1993-95 гг.) на фоне сравнительно равномерного течения процесса; 5) всплески сейсмической активности на платформе происходят примерно в одно время с аналогичными процессами в подвижном поясе; 6) активизация сейсмического процесса на платформе опережает или запаздывает на 1-2 года по отношению к всплеску сейсмичности в поясе.

Установленные закономерности свидетельствуют об устойчивом соответствии пространственно-временного развития сейсмического процесса в краевой части платформы и окружающем ее подвижном поясе. Более того, согласованность их формирования определяется не просто энергетическим откликом платформы на процессы, происходящие в поясе. Закономерное строение эпицентрального поля на платформе отражает неравномерность структурообразования, которая характерна для периферийных частей крупных разломных систем [Park, 1997]. Тектоническим структурам подобного типа, согласно опубликованным ранее исследованиям [Разломообразование..., 1991; Семинский и др., 2005], свойственна поперечная миграция (колебательного типа) активности в ходе разрывообразования, которой можно объяснить отмеченные выше временные вариации сейсмической активности и, прежде всего, запаздывание ее всплесков в поясе по сравнению с платформой. Следовательно, в данном случае имеет место единство для всей исследу-

емой территории деструктивного процесса, который проявляется в пределах широкой протяженной области и обусловлен спецификой распределения тектонических напряжений при взаимодействии крупных литосферных блоков.

Кроме рассмотренной выше краевой полосы рассеянной сейсмичности, на северо-западе рассматриваемой территории имеет место второй, изометричный по форме и небольшой по размерам участок проявления ночных землетрясений (рис. 2В). Несмотря на представленность всего несколькими сейсмическими событиями, существование данного участка закономерно, т.к. его местоположение в целом совпадает с северо-западным участком повышенной плотности линеаментов (рис. 2А).

Обсуждение результатов исследования. Подобие в первом приближении показанных на рис. 2 распределений является еще одним признаком того, что большинство выявленных в пределах Иркутского амфитеатра линеаментов и вытянутых участков их сгущения отражают положение, соответственно, разломов и разломных зон. Это тем более справедливо при принятой здесь тектонофизической трактовке последнего термина [Шерман и др., 1983; Разломообразование..., 1991, 1992, 1994], когда в качестве разломной выделяется не только зона тектонитов сместителя, но и существенно больший по ширине линейно вытянутый участок распространения генетически связанных с его формированием пластических и разрывных деформаций [Семинский и др., 2005]. На платформах, в условиях слабой тектонической активности, сместитель, как правило, отсутствует на поверхности, но его активное существование на глубине предопределяет наличие, во-первых, локализации деформаций и, во-вторых, парагенезиса разрывов и складок, соответствующего характеру подвижек.

Линейно вытянутые участки, окрашенные на рис. 1Б серым цветом, в большинстве случаев представляют наиболее крупные из разломных зон Иркутского амфитеатра, которые, судя по размерам, отражают наличие разломов в фундаменте платформы. Другие в совокупности с показанными на схеме отдельными разрывами проявились в результате подвижек по сместителям, нарушающим слои и пачки осадочного чехла. Особенности его дислоцированности связаны с мощным соленосным комплексом, осложняющим проявление тектонической деструкции, главные закономерности

которой определяются деформациями терригенно-карбонатного «несущего» каркаса [Дубровин, 1979; Сметанин, 2000].

Таким образом, представленная на рис. 1Б разрывная сеть в общих чертах отражает стиль делимости земной коры Иркутского амфитеатра, где, как и в большинстве платформенных регионов, субвертикальные разломы в комбинации с послонными срывами и пологими надвигами способствуют разрядке возникающих напряжений. Источники латеральных перемещений блоков по разломным зонам отличаются в разных регионах, а в краевой части амфитеатра, генетически связаны с деструктивными процессами в смежном сегменте подвижного пояса. Именно поэтому сети платформенных разрывов в приаянском, прибайкальском и припатомском сегментах существенно отличаются друг от друга (рис. 1Б), т.к. являются составными частями разломного строения соответствующих ветвей подвижного пояса.

Несмотря на то, что представленная на рис. 1Б разломная сеть характеризует в целом новейший этап тектогенеза, в настоящее время она активизирована, причем в разной степени. Интенсивность процесса неравномерно снижается от краевого шва вглубь платформы. Периферийный пояс и северо-западный изометричный участок повышенной плотности линеаментов и землетрясений отделены друг от друга полосой с минимальными значениями, в пределах которой о современной активности свидетельствует лишь наличие послонных срывов с аномально высокими поровыми давлениями. Граница распространения процессов активизации на север находится за пределами изучаемой территории и, по-видимому, должна в первом приближении отождествляться с краевой частью предрифтовой зоны, выделенной А.Г. Золотаревым [Золотарев, Савинский, 1978; Карта..., 1979]. Там, как и на северо-западе изученной площади, верхнеплейстоцен-голоценовые тектонические подвижки по разломам характеризуются наименьшей интенсивностью и поэтому трудноотличимы от проявлений активности, обусловленной лунно-солнечными приливами, миграцией подземных вод, криогенезом и др. В связи с этим, наши детальные исследования позднекайнозойских разломов были проведены в пределах краевой полосы, где установленные закономерности явно выражены вследствие сравнительно высокой для платформы тектонической активности.

В полях распространения разрывных структур и, особенно, эпицентров землетрясений рассматриваемая полоса отчетливо отделяется от северных участков Иркутского амфитеатра (рис. 2). Ее форма, размеры, зональное строение и пространственно-временные взаимоотношения с характером сейсмической активности и разломообразования за границей платформы свидетельствуют об однозначной связи с процессом формирования крупной межблоковой границы у края Сибирского кратона. Меньшая интенсивность и слабая выраженность деструктивного процесса на платформенной территории (по отношению к центральным частям Саяно-Байкальского подвижного пояса) объясняются ее периферийным положением в зоне активного структурообразования, а также большей мощностью и монолитностью деформируемого объема литосферы.

Особенности проявления верхнепалеоценово-голоценовых разломов в верхней части платформенного чехла

Исследования характера проявления позднекайнозойских разломов в верхней части осадочного чехла осуществлены в пределах профиля г. Иркутск – г. Саянск, пересекающего полностью выделенный пояс рассеянной платформенной сейсмичности (рис. 1Б, 2В).

Линеаментный анализ рельефа проведен в укрупненном, по сравнению с аналогичными работами для всей площади Иркутского амфитеатра, масштабе. Дешифрировано несколько десятков изображений и выявлены все структуры, выраженные линейными формами рельефа в полосе шириной примерно 20 км вдоль изучаемого профиля.

Как видно на примере северо-западной оконечности профиля (рис. 3А), распределению линеаментов свойственны те же закономерности, что и для амфитеатра в целом. Наряду с существованием единичных структур, некоторые линеаменты выстраиваются в цепочки или кулисные ряды, т.е. группируются в зоны. Последние представляют более крупные разрывные структуры, среди которых в свою очередь можно выделить свой иерархический ряд. Например, небольшие (до 10 км в длину) линейно вытянутые участки проявления субпараллельных линеаментов в долине р. Ока образуют в совокупности более крупную разломную зону Окино-Катангского разлома, выделяющегося в

виде фрагмента и в более мелком масштабе (рис. 1Б). Сериями линеаментов, выделяющихся в бортовых уступах долин рр. Залари и Унга (рис. 3А), на более высоком иерархическом уровне подчеркивается еще одна из показанных на рис. 1Б крупных разломных зон (№ 10), на северо-восточном продолжении которой располагается Жигаловский вал [Дубровин, 1979; Сметанин, 2000]. Следующее структурное направление, отчетливо проявленное на изучаемом участке в виде отдельных линеаментов и их сгущений, – северо-западное (ангарское). Разлом с упомянутым названием, согласно [Levi et al., 1997], протягиваясь от г. Саянск до истока р. Ангары, нарушает фундамент платформы и выражается в чехле в виде отдельных сегментов, особенности структурного проявления которых были детально изучены нами на отрезке г. Иркутск – пос. Листвянка [Семинский и др., 2001, 2005].

Кроме представленных выше разломных зон (рис. 3А), в пределах профиля были зафиксированы и другие крупные дизъюнктивные структуры. К некоторым из них приурочены долины основных левых притоков р. Ангары (р. Белая, р. Китой, р. Иркут), что, как и для долины р. Ока, привело к формированию грабеннообразных впадин (соответственно, Голуметская, Китойская, Иркут-Ушаковская), уровень днища которых на 100 и более метров оказался ниже вершинной поверхности (рис. 1А). О существенной роли разломов при формировании в позднем кайнозое рассматриваемых присаянских впадин, кроме многочисленных линейно вытянутых бортовых уступов, свидетельствуют установленные прямые признаки наличия тектонических нарушений [Аржанникова, Аржанников, 2005; Семинский и др., 2005], а также косвенные факторы, полученные при анализе состава и структуры разреза аллювиальных отложений [Логачев и др., 1964].

Полевые структурно-геологические и геоморфологические исследования проводились для заверки выявленных линеаментов на местности. В изученной полосе создано более ста точек наблюдений, в большей части которых сделаны массовые замеры элементов залегания трещин. Существенный акцент на статистическом изучении трещиноватости продиктован условиями слабой обнаженности платформенной территории и неизбежным дефицитом прямых признаков наличия разломов даже в скальных породах. Массовый характер наблю-

РАЗЛОМЫ И СЕЙСМИЧНОСТЬ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

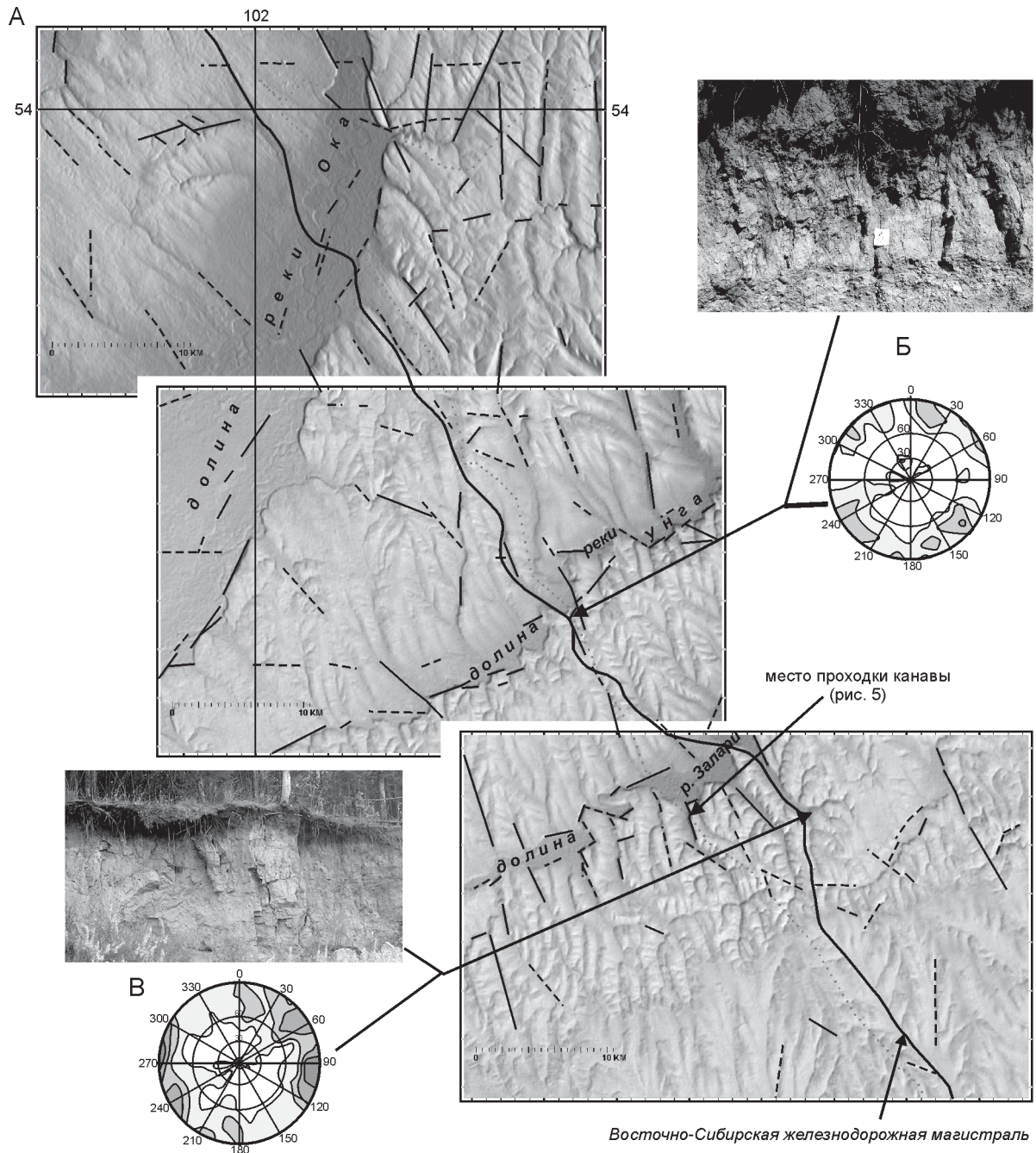


Рис. 3. Схема линейментов, построенная на основе цифровой модели рельефа для северо-западной части профиля г. Саянск-г. Иркутск (А), а также примеры типичных трещинных сетей (на фотографиях и круговых диаграммах) в отдельных точках изучаемой территории (Б и В).

Отчетливо выраженные в рельефе линейменты показаны сплошной линией, а предполагаемые – пунктиром. Диаграммы: Б – 60 замеров, уровни изолиний – 1,5-4,5-7,5 %; В – 103 замера, уровни изолиний – 1,5-3,5-5,5-7,5 %.

дений за трещиноватостью позволяет, исходя из принципов спецкартирования [Семинский, 1994; Семинский и др., 2005], поставить в соответствие зафиксированному в коренном выходе разрывному нарушению определенным образом организованную трещинную сеть, а

затем проследить ее наличие в смежных обнажениях. Даже при отсутствии прямых признаков сместителя его существование может предполагаться на глубине, если системы трещин представляют парагенезис разрывов 2-го порядка (например, R - и R' -сколы) и сгущаются по

направлению к осевой части зоны. Большое внимание при сборе фактического материала уделялось трещинам в слабосцементированных кайнозойских отложениях, которые, с одной стороны, часто обнажаются в карьерах и подрезках склонов дорогами, а с другой – несут информацию о наиболее молодых деформациях. Кроме наблюдений за разрывами, в окрестностях предполагаемого разлома фиксировались особенности залегания рыхлых отложений и рельефа местности (вариации мощности и фациального состава четвертичных отложений и почвы, резкие уступы рельефа и относительно крутые участки склонов и т.п.), которые служат дополнительными признаками наличия дизъюнктивной дислокации.

При заверке линеаментов на местности, ввиду слабой интенсивности тектонических перемещений и неудовлетворительной обнаженности платформенной территории, лишь в единичных случаях удалось зафиксировать зоны дробления, зеркала скольжения и т.п. в скальных породах и соответствующие смещения в рыхлых позднекайнозойских отложениях. В то же время, подавляющее большинство изученных линеаментов по совокупности структурно-геологических и геоморфологических признаков являются разломными зонами в представленном выше широком понимании данного термина. Все структурные ситуации, задокументированные при этом в верхнеплейстоцен-голоценовых отложениях, достаточно определенно делятся на три группы. Правомерность предлагаемого деления подтверждается структурно-геологическими данными, полученными в ходе работ на юго-восточном продолжении описываемого здесь профиля (г. Иркутск – исток р. Ангары), в пределах профиля менее детальных исследований (г. Усть-Кут – г. Северобайкальск) и в отдельных точках наблюдений на территории Иркутского амфитеатра.

Первую группу составляют широкие зоны развития системной трещиноватости в породах верхнего плейстоцена и голоцена. В их строении принимают участие локальные зонки повышенной трещиноватости мощностью до первых метров, отчетливо выделяющиеся в обнажениях и на графиках плотности трещин, построенных в ходе документации. По морфологическим признакам трещины являются отрывами, реже сколами без видимых признаков смещения. Трещинная сеть характеризуется системностью, причем одно из разрывных на-

правлений совпадает с ориентацией предполагаемого по геоморфологическим и другим признакам сместителя (рис. 3Б).

Вторая группа структурных ситуаций по большому счету аналогична первой при одном качественном отличии: в осевой части разломной зоны верхнеплейстоцен-голоценовые отложения интенсивно нарушены сколовыми трещинами, смещения по наиболее крупным из которых могут достигать первых сантиметров. Такие трещинные сети во многом подобны сетям в скальных выходах горных пород как по внешним признакам, так и по рисунку изолиний на диаграммах (рис. 3В). Это позволяет при интерпретации эффективно использовать набор приемов парагенетического анализа. В наименее информативных точках наблюдения могут быть установлены пары сопряженных разрывных систем по методу П.Н. Николаева [1992] с последующим восстановлением ориентации осей главных нормальных напряжений. В часто встречающихся ситуациях выделяются тройки примерно перпендикулярных систем трещин, конусы и пояса вращения, анализ которых в соответствии с известными методическими приемами [Чернышев, 1983; Hancock, 1985; Расцветаев, 1987; Семинский и др., 2005, и др.] позволяет, кроме реконструкции полей напряжений, получить информацию о векторе смещения и морфогенетическом типе разломной зоны. Наконец, в наиболее информативных точках наблюдения может быть установлено происхождение всех главных трещинных направлений как разрывных систем 2-го порядка, формирующихся в рыхлых отложениях при подвижках по сместителю, который нарушает залегающие ниже скальные породы. Возможности такого анализа подробно рассмотрены в нашей предыдущей публикации [Семинский, Бурзунова, 2007] на примере одного из разломов юго-восточной части профиля г. Саянск – г. Иркутск.

Третью группу структурных ситуаций составляют широкие (десятки метров) линейно вытянутые участки интенсивного проявления разрывов, концентрация которых увеличивается по направлению к разломному сместителю. Последний представляет собой узкую (до 10-15 м) зону, выраженную по-разному в породах, отличающихся возрастом и степенью литификации. В древних образованиях сместитель представлен одной или серией зонк дробления мощностью в первые десятки сантиметров, а в рыхлых позднекайнозойских отложениях

ях – участками (мощностью в первые десятки метров) развития сколовых трещин и разрывов, амплитуды смещения по которым достигают первых десятков сантиметров.

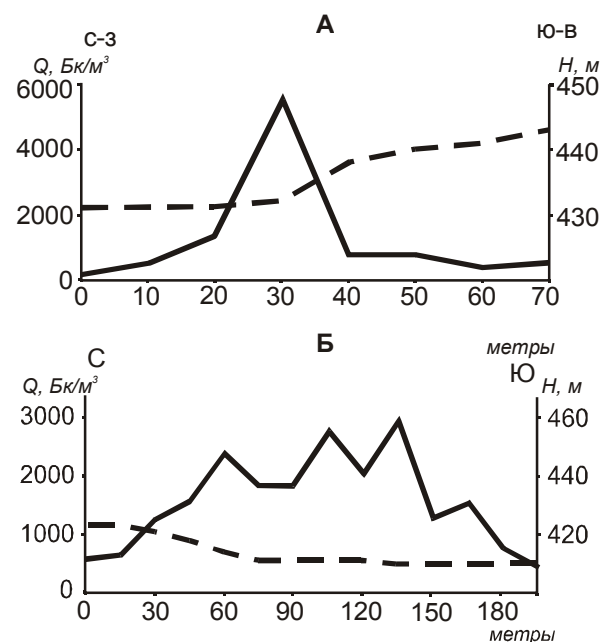
Эманионная съемка осуществлялась при помощи радиометра РРА-01М-01 с целью определения проницаемости выделенных разломных зон для радона, без чего они не могут считаться активными в позднекайнозойское время. Съемка проводилась в профильном варианте с шагом между точками наблюдения 10 или 15 м (детализация на отдельных участках – до 5 м). Забор почвенного воздуха осуществлялся с помощью пробоотборного устройства ПОУ-04 через трубку с глубины 50 см. Одновременно фиксировались атмосферное давление, температура и влажность воздуха, что обеспечивало возможность учета при интерпретации полученных данных влияния метеорологических факторов на концентрацию радона. Отработанная методика измерений позволяет получить весь набор параметров, необходимых для определения объемной активности радона (Q) в соответствии с паспортом радиометра РРА-01М-01.

Измерения, проведенные в зонах разломов, располагающихся в окрестностях населенных пунктов Зима, Тыреть, Залари, Михайловка, Тайтурка, Усолье-Сибирское и Ангарск, позволили зафиксировать существенное превышение значений параметра Q над величинами, определенными на каждом из участков как фоновые. При этом формы кривых отличаются у

разных дизъюнктивов от простых, с одним локализованным максимумом (рис. 4А) до более сложных, когда среди повышенных в целом значений Q имеют место частные максимумы, соответствующие наиболее проницаемым, вследствие нарушенности, участкам разломной зоны (рис. 4Б). В результате исследований не удалось обнаружить устойчивой тенденции уменьшения абсолютных значений объемной активности радона в разломных зонах по мере продвижения от краевого шва вглубь платформы. С другой стороны, было установлено, что максимальные значения Q колеблются в широких пределах – от 1500 Бк/м³ у разломов первой группы до 5500 Бк/м³ – у нарушений третьей группы, причем в последнем случае они не уступают зафиксированным при той же методике измерениям в некоторых разломах центральной части Байкальской рифтовой зоны (район Приольхонья). Таким образом, через разломы, изученные в разных местах исследованного профиля на предмет наличия повышенных концентраций радона в подпочвенном воздухе, происходит активная дегазация, причем характер проницаемости зависит от состояния внутренней структуры зон их влияния.

Проходка канав осуществлялась с целью вскрытия и детального изучения внутреннего строения разломных зон, отчетливо выраженных в структурных (наличие сколовых трещин со смещениями рыхлых осадков), геоморфологических (основание уступа) и геофизических (наличие максимума объемной активности ра-

Рис. 4. Графики изменения объемной активности радона Q (сплошная линия) и высоты местности H (пунктирная линия), построенные для профилей, ориентированных вкостростиражения разломных уступов в правом борту долины р. Биликтуйка (окрестности г. Ангарск) (А) и в левом борту долины р.Белая (окрестности пос. Тайтурка) (Б).



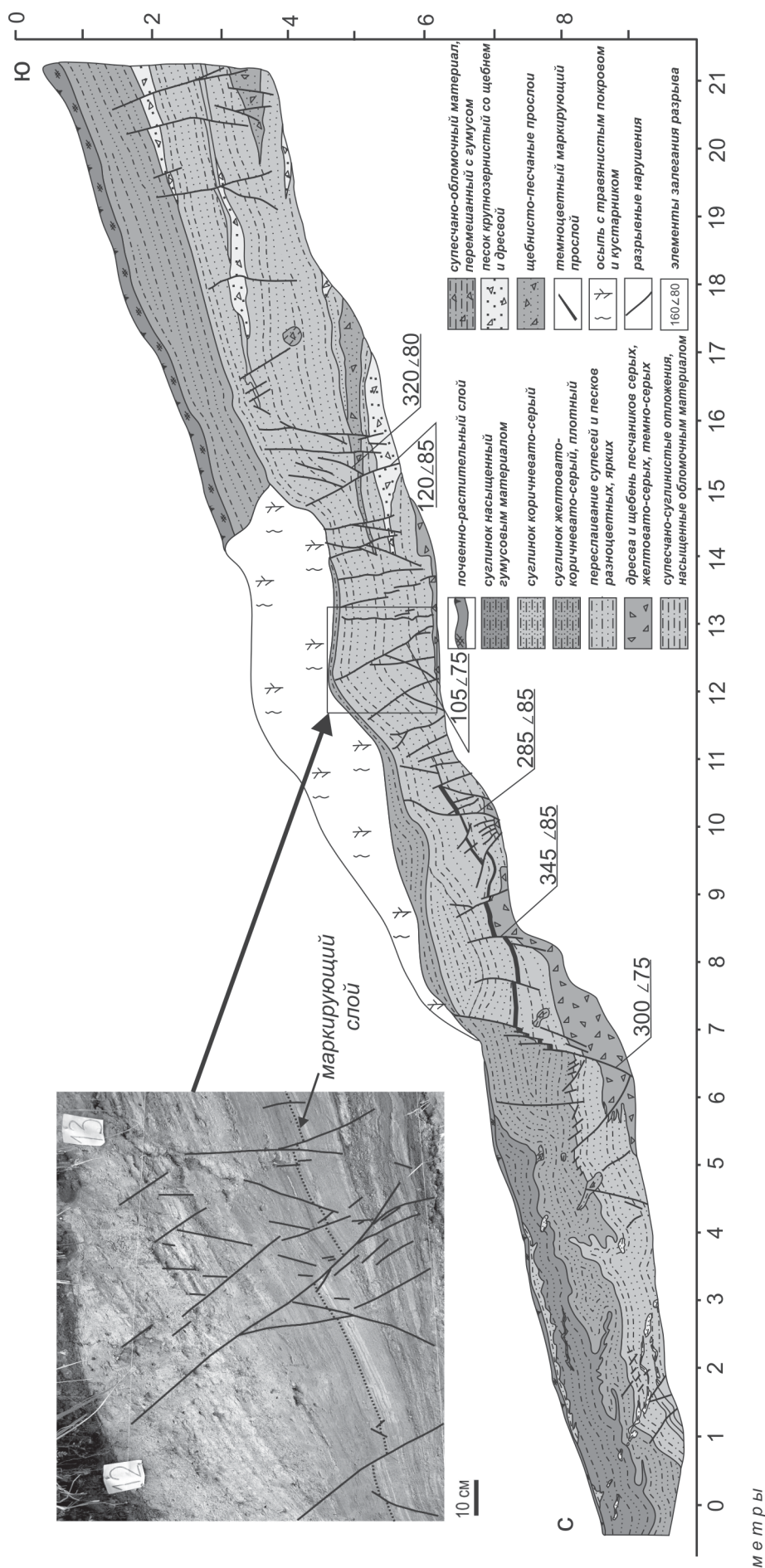


Рис. 5. Геологический разрез, задокументированный в канаве, которая вскрыла серию сбросовых разрывов (см. также фото), смещающих рыхлые позднекайнозойские отложения над разломом в юрских породах. Местоположение канавы показано на рис. 3.

дона) признаках. Было пройдено и задокументировано 18 канав протяженностью от 2 до 80 м и глубиной 1,5-2 м. Из 11 детально изученных таким образом разломных зон в трех случаях полученная информация наиболее полно может быть объяснена, исходя из импульсного характера подвижек по сместителю. Один из разломов приурочен к правому борту р. Биликтуйка в окрестностях г. Ангарск, а два других (в т.ч. и представленный ниже в качестве примера) принадлежат к уже описанной крупной зоне, пересекающей профиль в окрестностях пос. Тыреть и Залари (зона № 10 на рис. 1Б).

В борту одного из правых притоков р. Залари (рис. 3) была изучена зона разрывных деформаций мощностью 11 м, которая отчетливо выделяется максимумом (3400 Бк/м^3) объемной активности радона с поверхности. В стенке канавы, по мере продвижения от периферии к центру, она представлена сначала сетью трещин отрывной морфологии, а затем серией сбросовых разрывов, принадлежащих двум падающим навстречу друг другу сопряженным системам, по которым отдельные блоки пестроцветной, тонкослоистой толщи позднего кайнозоя смещаются на первые сантиметры (рис. 5). В осевой части зоны имеет место заполненный голоценовыми суглинками микрограбен (на отметке 6 м), борта которого представлены ступенчатыми сбросами с суммарной амплитудой смещения маркирующего прослоя, равной 70 см. Отчетливо «хрупкий» облик задокументированной структурной картины, наличие «падающих» в противоположных направлениях сбросов, аномально острый угол при оси сжатия в реконструированном по сбросам поле напряжений, в совокупности с отсутствием деформаций сжатия в основании уступа и не согласующимся с простиранием склона положением всей задокументированной структуры свидетельствуют о большой вероятности ее возникновения в результате землетрясения, которые в этом регионе ощущаются достаточно отчетливо.

Обсуждение результатов исследований. Комплексный анализ всех полученных данных свидетельствует об объективности выделения 3 групп изученных разломов, явно отличающихся интенсивностью нарушения и концентрациями подпочвенного радона в перекрывающих их слабосцементированных осадках. Это, в совокупности с наличием у отдельных разломных зон постепенных переходов от сети сначала отрывных, а затем сколовых тре-

щин на периферии до протяженных разрывов с существенными амплитудами смещений в центре, является основанием для того, чтобы считать представленное деление приближенной классификацией разломов по степени активности в позднем кайнозое.

Как было установлено на примере изученного профиля, соотношение разломных зон, относящихся к первой, второй и третьей группам, составляет: 6/2/1. Существенно преобладающие по распространенности дизъюнктивные структуры 1-ой группы характеризуются слабой активностью перемещений, результатом которой является нарушение осадков сетью главным образом отрывных трещин. Ее системность и выдержанность по простиранию дизъюнктива в совокупности с дополнительными признаками (в т.ч. структурными в располагающихся рядом скальных породах) позволяют уверенно судить об отсутствии существенного влияния локальных проявлений инженерно-геологических процессов. Что же касается флюиодинамических и космогенных факторов, то их роль при формировании трещиноватости рассматриваемого типа может быть соизмерима с тектоническим воздействием. Разломы со средней (вторая группа) и особенно с высокой (третья группа) степенью тектонической активности по их выраженности в чехле перекрывающих слабосцементированных осадков в качественном отношении практически ничем не отличаются от тех тектонических нарушений, которые имеют место в подвижных поясах и характеризуются высокой интенсивностью тектонических перемещений. Для третьей группы дизъюнктивов это сходство становится еще более полным, если учесть, что некоторые из задокументированных на профиле г. Саянск-г. Иркутск структурных ситуаций по целой серии признаков свидетельствуют о быстрых подвижках по сместителю.

Заключение

Территория юга Сибирской платформы характеризуется широким проявлением на разных масштабных уровнях разломных зон как широких полос локализации разрывных и пластических деформаций, которые генетически связаны с подвижками по сместителям, обнаруживаемым на поверхности значительно реже, чем это характерно для регионов с высокой тектонической активностью. Разломные зоны отчетливо выражаются в рельефе, представляя

сгущения субпараллельных, кулисообразно или эшелонировано расположенных уступов, что позволяет для их картирования эффективно использовать современные дистанционные материалы, отличающиеся высокой разрешающей способностью.

Схема разломных структур, впервые построенная на основе цифровой модели рельефа для территории Иркутского амфитеатра, свидетельствует о неравномерной нарушенности земной коры разноранговыми дизъюнктивами, активными в новейшее время. Привлечение к анализу данных о распределении землетрясений, наличии аномальных пластовых давлений, материалов радоновой съемки и результатов исследования деформаций рыхлых верхнеплейстоцен-голоценовых отложений позволило установить наиболее общие закономерности тектонической активности, проявляющейся на юге Сибирской платформы в позднем кайнозое.

1. Тектоническая структура земной коры амфитеатра активизирована на современном этапе тектогенеза, причем неравномерно в пространстве и времени. В качестве конкретного выражения временной неравномерности на данной стадии исследований можно привести лишь наличие всплесков сейсмической активности (1969-72, 1977-81, 1987-88, 1993-95 гг.) на фоне сравнительно равномерного течения процесса. Проявления пространственной неравномерности разнообразны, но в целом сводятся к увеличению активности от периферии к центральным частям зон деструкции, проявляющейся на разных иерархических уровнях.

2. Для масштабов Иркутского амфитеатра в целом, по мере продвижения с севера на юг поле слабой сейсмичности и повышенной плотности разрывов сменяется сначала асейсмичной территорией с аномально высокими пластовыми давлениями в чехле, а затем широкой полосой наиболее активных для платформы проявлений деструкции, границей которой является краевой шов. Эта самая южная часть Сибирского кратона на 150-300 км к северу от его границы охвачена тектоническими деформациями, генетически связанными с современной деструкцией литосферы в Саяно-Байкальском подвижном поясе. Процесс взаимодействия блоков по разломным зонам и обусловленная им сейсмичность развиваются на этой территории и в поясе по единым законам, что находит отражение в соответствии их формы и размеров, общности сетей разломных структур,

продольной и поперечной зональности пространственного распределения землетрясений, временной миграции сейсмической активности и других особенностях. Меньшая интенсивность процесса на платформе определяется ее периферийным положением в зоне активного структурообразования, а также большей мощностью и монолитностью деформируемого объема литосферы.

3. Для масштабов разломных зон процесс локализации деформации проявляется в самом их обособлении по сравнению со слабо нарушенными блоками. На наиболее высоком иерархическом уровне перемещения по локализуемому в скальных породах сместителю проявляются в перекрывающих его слабосцементированных отложениях позднего кайнозоя в виде закономерно организованных зон. От их периферии к осевой части происходит смена участков развития системных трещин отрыва, затем отрывов и сколов и, наконец, разрывов со смещениями, достигающими десятков сантиметров. Представленная зональность в полном виде характерна для высокоактивных (в т.ч. сейсмоактивных) разломов. На юге Иркутского амфитеатра они распространены, соответственно, в два и в шесть раз меньше, чем разломы средней и низкой активности, которые в рыхлых отложениях выражены зонами развития сколовых и отрывных трещин. Различие в распространенности разломов разной степени активности в числе других факторов объясняет заметное снижение интенсивности сейсмического процесса на платформенной территории по сравнению с Саяно-Байкальским поясом, проявляющееся как в общем количестве сейсмических событий, так и в повторяемости наиболее сильных из них.

Существенное влияние на характер разломообразования оказывает двучленное строение платформы, а также наличие соленосных отложений в осадочном чехле. Ситуация с постепенным прорастанием, вследствие активизации, разломов фундамента сначала в нижние, а затем и в самые верхние слои осадочного чехла является главной причиной проявления их в виде зон, в пределах которых интенсивность деструкции возрастает от периферии к осевым частям. Однако этот процесс осложняется послойными перемещениями тектонических пластин, широкое развитие которых обусловлено доминированием на юге Сибирской платформы горизонтально ориентированных сил, а также

наличием пластичных соленосных толщ в совокупности с аномальными поровыми давлениями, возникающими на их контактах с терригенно-карбонатными породами. В итоге, основной парагенезис разломов, обеспечивающий разрядку напряжений, представлен послонными срывами и надвигами в совокупности с субвертикальными сбросами и сдвигами, внутренняя структура которых осложняется проявлениями соляной тектоники (валы, ядра и т.п.).

В целом тектоническая активизация земной коры Иркутского амфитеатра в верхнеплейстоцен-голоценовое время протекает в соответствии с наиболее общими для периферии платформ закономерностями. Они определяются тесными пространственно-временными связями разломообразования и сейсмичности на платформе с аналогичными процессами в пограничных подвижных поясах, взаимодействием блоков по широким зонам повышенной нарушенности, значимой ролью послонных перемещений и другими. Это является косвенным подтверждением объективности существования установленных закономерностей тектонической активизации и веским основанием для рассмотрения юга Сибирской платформы под новым углом зрения, как в плане геодинамических построений, так и их практических следствий, связанных с безопасностью строительства и эксплуатации промышленных сооружений в регионах интенсивного народнохозяйственного освоения.

Авторы благодарны кандидатам наук Я.Б. Радзиминовичу, О.В. Луниной, а также всем сотрудникам лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН за помощь в проведении исследований.

Работа выполнялась при финансовой поддержке СО РАН (проект ОНЗ-6.13) и РФФИ (проект 07-05-00061-а).

Список литературы

Анциферов А.С. Гидрогеология древнейших нефтегазоносных толщ Сибирской платформы. М.: Недра, 1989. 176 с.

Аржанникова А.В., Аржанников С.Г. Проявления новейших тектонических деформаций на юге Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2005. Т. 46. № 3. С. 273-279.

Архипов Ю.В., Высоцкий К.А., Калинин А.Т. О деформациях платформенного чехла Волго-Уральской области // Геотектоника. 1996. № 5. С. 55-65.

Вахромеев А.Г. Аномальные давления флюидов как индикатор напряженного состояния соленос-

ной формации осадочного чехла Сибирской платформы // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии: фундаментальный и прикладной аспекты. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2006. С. 113-116.

Вахромеев А.Г., Сизых В.И. Роль шарьяжно-надвиговой тектоники в формировании аномально высоких пластовых давлений и промышленных металлоносных рассолов (на примере юга Сибирской платформы) // Докл. РАН. 2006. Т. 407. № 2. С. 212-216.

Гладков А.С., Лунина О.В. Трещины в позднекайнозойских отложениях: новые возможности для структурного анализа // Докл. РАН. 2004. Т. 398. № 6. С. 872-876.

Гладков А.С., Лунина О.В., Черемных А.В. О взаимоотношении юрских и кембрийских толщ на юге Сибирской платформы // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2004. № 2. С. 9-15.

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 юга Сибирской платформы по инструментальным сейсмологическим наблюдениям // Вулканология и сейсмология. 2001. № 6. С. 68-77.

Голенецкий С.И. Наведенная сейсмичность в районе Иркутского водохранилища у юго-западной оконечности озера Байкал // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 10. С. 1692-1698.

Дубровин М.А. Соляная тектоника Верхне-Ленской впадины Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1979. 95 с.

Замараев С.М. Краевые структуры южной части Сибирской платформы. М.: Наука, 1967. 247 с.

Золотарев А.Г., Савинский К.А. Предрифтовая структурная зона в Прибайкалье // Геология и геофизика. 1978. № 8. С. 60-68.

Камалетдинов М.А., Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т. Происхождение складчатости. М.: Наука, 1981. 135 с.

Карта новейшей тектоники юга Восточной Сибири. Масштаб 1 : 1 500 000 / Ред. А.Г. Золотарев, П.М. Хренов. 1979.

Карта разломов юга Восточной Сибири. Масштаб 1 : 1 500 000 / Ред. П.М. Хренов. 1988.

Копп М.Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2004. 340 с.

Копп М.Л., Никонов А.А., Егоров Е.Ю. Кинематика новейшей структуры и сейсмичность Окско-Донского миоцен-четвертичного прогиба // Докл. РАН. 2002. Т. 385. № 3. С. 387-392.

Кропоткин П.Н., Ефремов В.Н. Тектонические напряжения на платформах и глобальные вариации сейсмичности // Геотектоника. 1999. № 5. С. 34-47.

Леонов Ю.Г. Напряжения в литосфере и внутриплитная тектоника // Геотектоника. 1995. № 6. С. 3-21.

- Леонов Ю.Г., Гуценко О.И., Копп М.Л. и др. Взаимосвязь позднекайнозойских напряжений и деформаций в кавказском секторе Альпийского пояса и в его северном платформенном обрамлении // Геотектоника. 2001. № 1. С. 36-59.
- Логачев Н.А., Ломоносова Т.К., Климанова В.М. Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра. М.: Наука, 1964. 195 с.
- Макаров В.И. Некоторые проблемы изучения новейшей тектоники платформенных территорий // Разведка и охрана недр. 1997. № 1. С. 20-26.
- Мандельбаум М.М., Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р. и др. Изучение юга Сибирской платформы и Байкальской рифтовой зоны методом глубоких сейсмических зондирований // Геофизика (спец. выпуск). 1999. С. 10-21.
- Морозов В.Н., Родкин М.В., Татаринов В.Н. К проблеме геодинамической безопасности объектов ядерно-топливного цикла // Геоэкол., инж. геол., гидрогеол., геокриол. 2001. № 3. С. 227-238.
- Николаев Н.И., Наймарк А.А. Карта новейшей тектоники СССР и сопредельных областей м-ба 1 : 5 000 000. Краткая объяснит. записка. М.: Аэрогеология, Изд-во МГУ, 1979. 173 с.
- Николаев П.Н. Методика тектонодинамического анализа / Под ред. Н.И. Николаева. М.: Недра, 1992. 295 с.
- Никонов А.А., Белоусов Т.П., Энман С.В. Землетрясения юга Восточно-Европейской платформы и их структурная позиция // Физика Земли. 2001. № 5. С. 30-44.
- Новейшая тектоника Сибирской платформы и ее влияние на нефтегазоносность. М.: Наука. 1985. 144 с.
- Новосилецкий Р.М. АВПД – Основной фактор формирования складчатости и залежей углеводородов // Флюидодинамический фактор в тектонике и нефтегазоносности осадочных бассейнов. М.: Наука, 1989. С. 159-166.
- Попков В.И. Внутриплитные структуры бокового сжатия // Геотектоника. 1991. № 2. С. 13-27.
- Расцветаев Л.М. Выявление парагенетических семейств тектонических дизъюнктивов как метод палеогеомеханического анализа полей напряжений и деформаций земной коры // Поля напряжений и деформаций в земной коре. М.: Наука, 1987. С. 171-181.
- Разломообразование в литосфере / С.И. Шерман, К.Ж. Семинский, С.А. Борняков и др. Новосибирск: Наука. Зоны сдвига. 1991. 262 с. Зоны растяжения. 1992. 240 с. Зоны сжатия. 1994. 263 с.
- Савинский К.А., Мордовская Т.В. Основные разломы фундамента Сибирской платформы // Глубинные разломы юга Восточной Сибири и их металлогеническое значение. М.: Наука, 1971. С. 103-109.
- Саньков В.А., Парфеев А.В., Мирошниченко А.И. и др. Кинематика разломов и позднекайнозойское поле напряжений восточной части Иркутского амфитеатра // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2006. С. 49-62.
- Семинский К.Ж. Принципы и этапы спецкартирования разломно-блоковой структуры на основе изучения трещиноватости // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 9. С. 112-130.
- Семинский К.Ж., Бурзунова Ю.П. Новый подход к анализу хаотической трещиноватости вблизи разломных сместителей // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 3. С. 330-343.
- Семинский К.Ж., Гладков А.С. Особенности деформаций земной коры на периферии Байкальской зоны деструкции // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 9. С. 1512-1519.
- 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. 1252-1262.
- Семинский К.Ж., Гладков А.С., Лунина О.В. и др. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Прикладной аспект. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2005. 293 с.
- Семинский К.Ж., Радзиминич Я.Б. Сейсмичность юга Сибирской платформы: пространственно-временная характеристика и генезис // Физика Земли. 2007. № 8.
- Сизых В.И. Шарьяжно-надвиговая тектоника окраин древних платформ. Новосибирск, Изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2001. 154 с.
- Сметанин А.В. Опыт динамической интерпретации гравитационных аномалий. Иркутск: Иркутский госуниверситет, 2000. 85 с.
- Современная динамика литосферы континентов. Платформы / В.С. Хромовских, В.П. Солоненко, Ю.К. Щукин и др. Под ред. Н.А. Логачева и В.С. Хромовских. М.: Недра, 1991. 279 с.
- Трифонов В.Г. Неотектоника Евразии. М.: Научный мир, 1999. 252 с.
- Уфимцев Г.Ф., Щетников А.А., Мяктова В.В. и др. Геоморфология и морфотектоника Ангаро-Ленского плато // Геоморфология. 2005. № 2. С. 97-106.
- Хайме Н.М. Количественная оценка разрывных тектонических смещений в платформенных регионах // Геоэкол., инж. геол., гидрогеол., геокриол. 2000. № 2. С. 107-115.
- Чернышев С.Н. Трещины горных пород. М.: Наука, 1983. 240 с.
- Чипизубов А.В., Аржанникова А.В., Воробьева Г.А. и др. Погребенные палеосейсмодислокации на юге Сибирской платформы // Докл. РАН. 2001. Т. 379. № 1. С. 101-103.
- Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов (результаты моделирования). Новосибирск: Наука, 1983. 112 с.
- Щукин Ю.К. Глубинное строение и динамика земной коры Восточно-Европейской платформы

РАЗЛОМЫ И СЕЙСМИЧНОСТЬ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

в связи с проблемой ее сейсмичности // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. М.: Изд-во ГС РАН, 2001. С. 143-150.

Hancock P.L. Brittle microtectonics: Principles and practice // J. Struct. Geol. 1985. V. 7, № 3/4. P. 437-457.

Hubbert M.K., Rubey W.W. Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting. I. Mechanics of

fluid-filled porous solids and its application to overthrust faulting // Geol. Soc. Amer. Bull. 1959. V. 70. № 2. P. 75-85.

Levi K.G., Miroshnichenko A.I., San'kov V.A. et al. Active faults of the Baikal depression // Bull. Centre Rech. Elf Explor. Prod. 1997. V. 21. № 2. P. 399-434.

Park R.G. Foundations of structural geology. London: Chapman & Hall, 1997. 202 p.

Рецензент доктор геол.-мин. наук С.Н. Кацубин