

УДК 551.24+550.34

НОВЫЕ ДАННЫЕ О КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ АКТИВИЗАЦИИ РАЗЛОМОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА МАГНИТУД СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ (НА ПРИМЕРЕ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ)

© 2006 г. С. И. Шерман, В. А. Савитский

Представлено академиком С.В. Гольдиным 26.09.2005 г.

Поступило 10.10.2005 г.

В работе [1] на базе геоинформационных технологий предложен алгоритм для изучения количественного индекса сейсмической активности разломов. Он позволил ранжировать их по степени современной активности в масштабах реального времени и дал основание для анализа доли участия разнорангового разломного сообщества в сейсмическом процессе. В цифровом значении индекс однозначно позволил отделить активные разломы от слабоактивных или совершенно неактивных на современном этапе геологического развития. Для ряда разломов Байкальской рифтовой системы (БРС) по количественному индексу сейсмической активности была установлена квазипериодичность их активизации [1]. Однако количественный индекс сейсмической активности не учитывает энергетическую характеристику процесса и не позволяет судить о геолого-геофизической значимости активизации конкретных разломов и вероятных ее следствиях, связанных с прогнозом сильных сейсмических событий.

Новые разработки в исследованиях об изменении во времени энергии (классов) землетрясений, контролируемых одними и теми же разломами, позволили предложить магнитудный (энергетический) индекс сейсмической активности (МИСА) разломов ξ_k , под которым понимается значение класса максимального сейсмического события k_{\max} ($k = \lg E$, дж; $k = 4 + 1.8M$, где M – магнитуда [2]), приходящееся на длину разлома L (км) при принятой ширине области его динамического влияния M_b (км) за определенный промежуток времени t (годы). Эта величина оценивается по выражению

$$\xi_k = k_{\max}(M_b, k, t), \quad (1)$$

где $k_{\max}(t)$ – максимальный класс землетрясения (или его максимальная магнитуда) в области ди-

намического влияния разлома M_b за заданный промежуток времени t . Ширина области динамического влияния разлома M_b оценивается по уравнению

$$M_b = bL \quad (2)$$

где L – длина разломов, км; b – коэффициент пропорциональности, зависящий от L и по эмпирическим данным изменяющийся от 0.03 до 0.09 соответственно для трансрегиональных и локальных разломов. При этом принято во внимание известное положение о том, что при увеличении длины разрывов относительная ширина областей их динамического влияния не пропорционально отстает от роста длины [3]. Поскольку глубина проникновения разломов хорошо коррелирует с их длиной [4], постольку оцененный таким образом МИСА характеризует временное изменение максимальных значений энергетической активности протяженных, линейно вытянутых “приразломных” объемов горных масс, вовлеченных в деформационный процесс при формировании и/или тектонической активизации конкретных дизъюнктивов.

Тестирование вводимого магнитудного индекса сейсмической активности разломов проведено на примерах БРС. Она является одной наиболее детально изученных в отношении разломной тектоники и сейсмичности и в то время социально значимых территорий России. Сейсмичность БРС обусловлена структурной позицией на границе Забайкальской и Сибирской литосферных плит Центральной Азии. Долгоживущий между ними шов определяет современный общий S-образный структурный план БРС, характеризующийся относительно закономерной сеткой разломов (см. [4] и др.). Большая часть разломов тектонически активны в кайнозой. Однако эпицентральное поле землетрясений БРС не всегда согласуется с известной разломно-блоковой структурой региона [5]. Детальный анализ пространственного распределения эпицентров землетрясений в областях

динамического влияния разломов только за последние 40 лет инструментальных регистрации показывает разную степень активности разломов, рассчитанную по количественному индексу их сейсмической активности [1]. Вариации значений количественного индекса сейсмичности послужили основанием распределения разломов на три группы, включая зону современной деструкции литосферы, и установления квазипериодичности их активизации в интервалах реального времени.

Более глубокий анализ параметров сейсмичности и использование МИСА разломов БРС позволили решить две принципиально новые задачи: определить максимальный энергетический потенциал основных разломов БРС за последние 40 лет (рис. 1) и проследить в масштабах реального времени короткопериодные колебания энергий сейсмических событий в отдельно взятых разломах (рис. 2).

По МИСА за инструментальный период наблюдений разломы БРС можно разделить на три группы: весьма активные с $\xi_k \geq 12$, активные $\xi_k = 10-11$ и слабоактивные с $\xi_k = 8-9$ (см. рис. 1). Первые две группы концентрируются преимущественно в границах БРС и согласуются с ее генеральным простиранием. Нетрудно заметить повышение их плотности в осевых частях сложной по конфигурации зоны современной деструкции литосферы [5]. Сравнение полученной картины с картами разломной тектоники БРС, в том числе с картами активных разломов [6], показывает, что на современном этапе тектонического развития во временном интервале как минимум в полстолетия в БРС происходит селективная сейсмическая активизация разломов. Однако и она не остается постоянной.

По показанным на рис. 1 сечениям исследования короткопериодная сейсмическая активизация отдельных разломов. Для иллюстрации выбрано сечение 4 через центральную часть БРС (рис. 1). Асинхронная квазипериодичность сейсмической активизации по максимальным значениям МИСА для разных разломов хорошо иллюстрирует график рис. 2. Из его анализа следует, что для каждого разлома характерна периодичность изменений МИСА, но экстремальные значения периодов не всегда корреспондируют. Это может означать, что для области динамического влияния конкретного сейсмически активного разлома в принятых энергетических классах землетрясений свойственна своя индивидуальная закономерность сейсмического процесса. Она заключается в различных временных границах условного начала периода активизации. Отсюда и несовпадение экстремальных точек квазипериодической картины колебаний значений ξ_k для разных разломов. Графиками рис. 3 показаны полиномиальные аппроксимации для двух субпа-

раллельных разломов сечения 4 (№ 219, длина 220 км; № 858, длина 130 км), удаленных друг от друга примерно на 100 км. Периодическая картина изменений ξ_k по полиномиальным аппроксимациям проявляется отчетливо. При этом намечаются смещения во времени экстремальных значений параметров ξ_k , отражающие несовпадение максимальных значений активизации отдельных разломов. Более того, не для всех разломов четко определяется временная периодичность активизации. Для ее уточнения по тем же и другим разломам 1-го, 4-го и 5-го сечений были оценены временные периоды максимальной активизации по наиболее представительным землетрясениям 10-го и 12-го классов; один из примеров показан на рис. 4. В результате обработки данных для всех разломов по сечениям 1, 4 и 5 для 10-го класса временной период активизации составил 18.9 ± 2.1 лет (частота 0.05 год^{-1}); для 12-го класса – 20.9 ± 3.0 лет (частота 0.05 год^{-1}). Таким образом, сейсмическая активизация отдельных разломов имеет квазипериодический характер в пространственно-временном диапазоне, ее периодичность разная для различных энергетических классов.

Как корреспондируют изложенные данные с известными закономерностями пространственно-временных вариаций геофизических и, в частности, эпицентральных полей землетрясений? Временные циклы сейсмических процессов рассмотрены в ряде работ (см. [7–9] и др.). Многочисленные примеры сложных форм временных вариаций геофизической среды приведены в обобщающей работе А.Г. Гамбурцева [10]. Из [7–10] следует, что временная изменчивость естественных геофизических полей многообразна. Временные вариации полей различны для разных регионов, неодинаковых объемов среды, параметров и частот регистрируемых волн, включая и сейсмические. При этом геологические параметры среды, в частности разломы как структуры, определяющие локализацию многих процессов, не привлекались к временному анализу. Это существенно отличает наши исследования от проведенных многими авторами и показывает, что использование в анализе только той группы фактов, которые пространственно ограничены областями динамического влияния конкретных разломов, может существенно приблизить нас к однозначным решениям, связанным с контролирующими функциями разломной тектоники в ряде современных процессов. И только в недавно опубликованной работе Ю.О. Кузьмина [11] выявлен новый класс современных движений земной поверхности – параметрически индуцированные тектонические деформации разломных зон. Показано, что возникновение суперинтенсивных движений (деформаций) земной поверхности в разломных зонах сейсмоактивных и асейсмичных регионов может происхо-

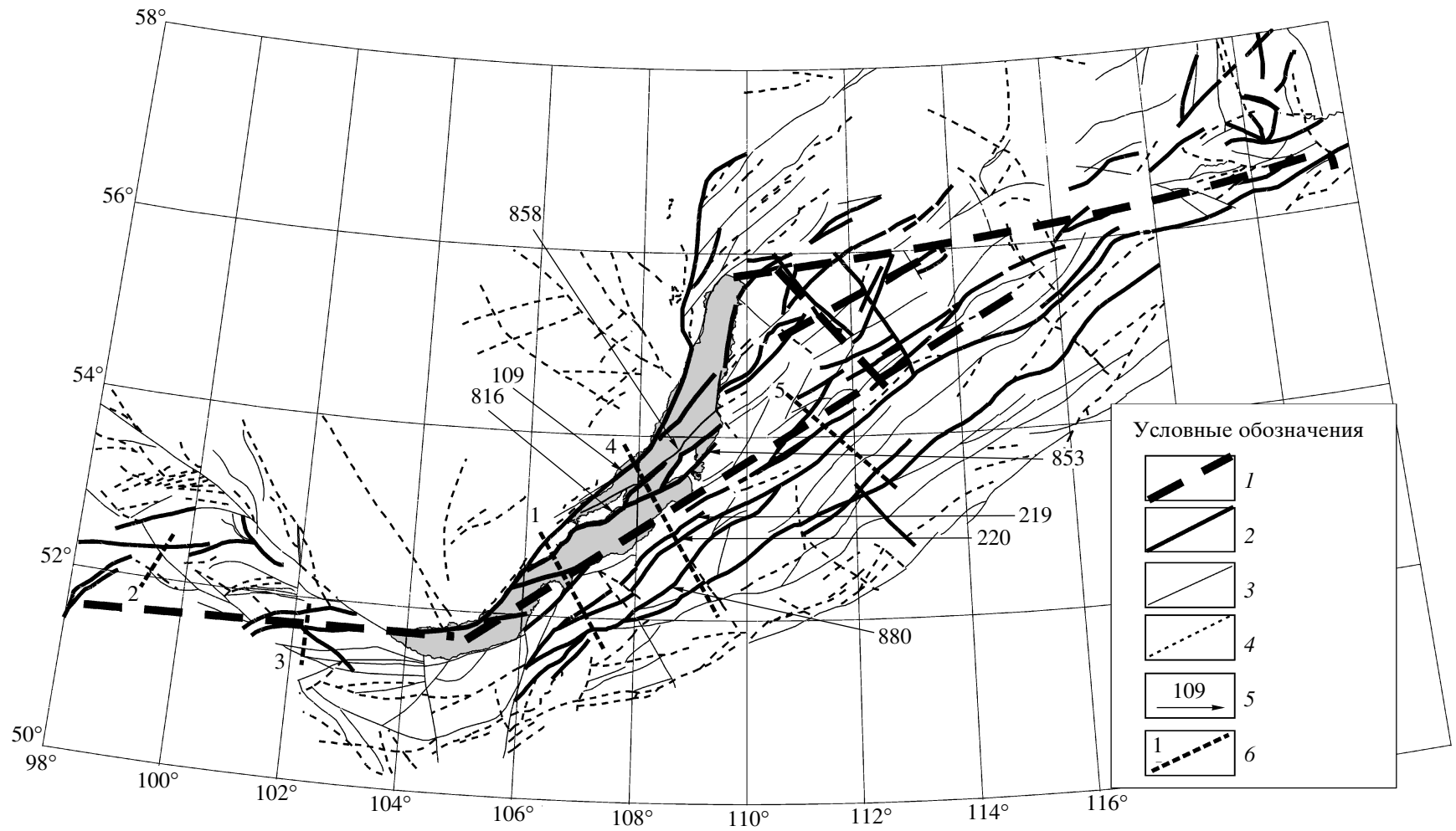


Рис. 1. Карта активных разломов Байкальской рифтовой системы по магнитудному индексу сейсмической активности (МИСА): 1 – оси зоны современной деструкции литосферы; 2 – разломы с МИСА ≥ 12 (весьма активные); 3 – разломы с МИСА 10–11 (активные); 4 – разломы с МИСА $\leq 8-9$ (слабо активные); 5 – номера разломов по каталогу; 6 – положение сечений и их номера.

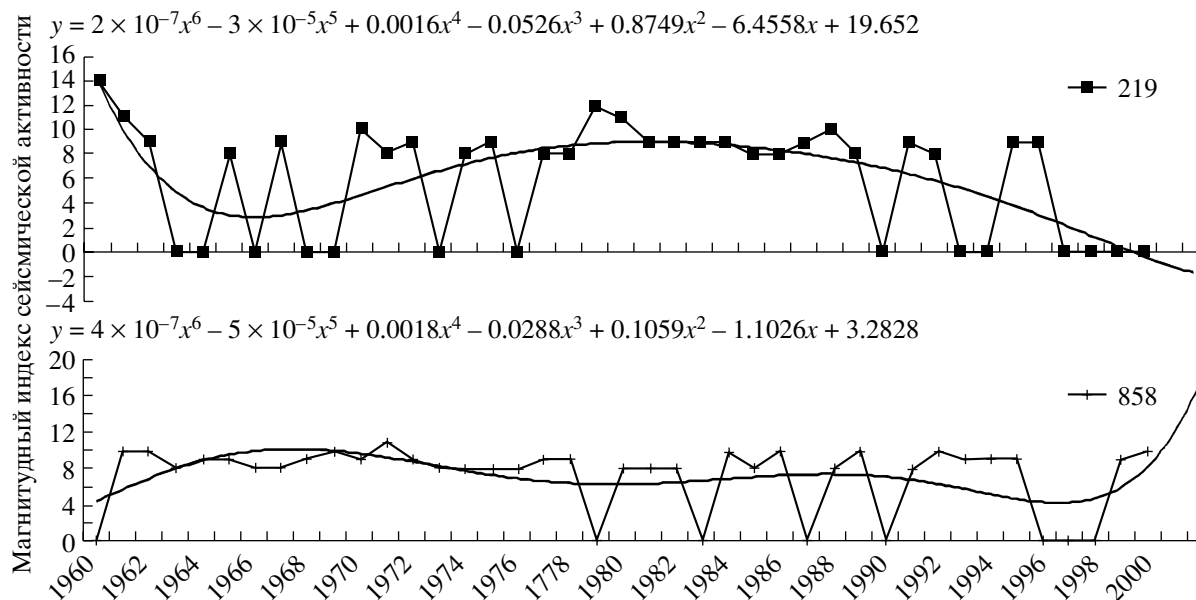


Рис. 2. График изменения магнитудного индекса сейсмической активности разломов БРС по сечению 4.

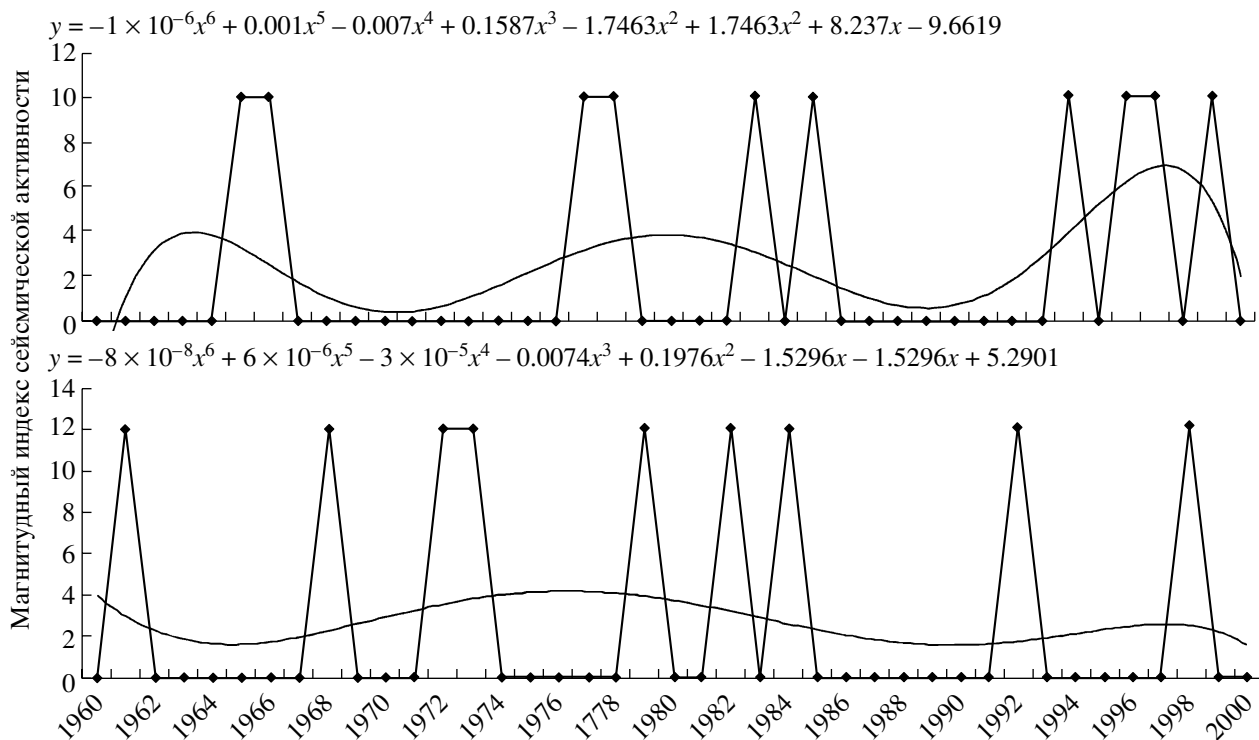


Рис. 3. Графики изменения магнитудного индекса сейсмической активности по отдельным разломам и их аппроксимирующие полиномиальные кривые.

дить под влиянием крайне малых внешних воздействий. На этот вывод Ю.О. Кузьмина надо обратить особое внимание, поскольку разломы Земли развиваются как открытые неравновесные системы с нелинейными свойствами. Им присущи в процессе

формирования непостоянные качества структурной организации, заключающейся в периодической смене порядка на хаос и наоборот [12]. Нелинейность свойств заключается также и в том, что незначительные внешние воздействия на разлом-

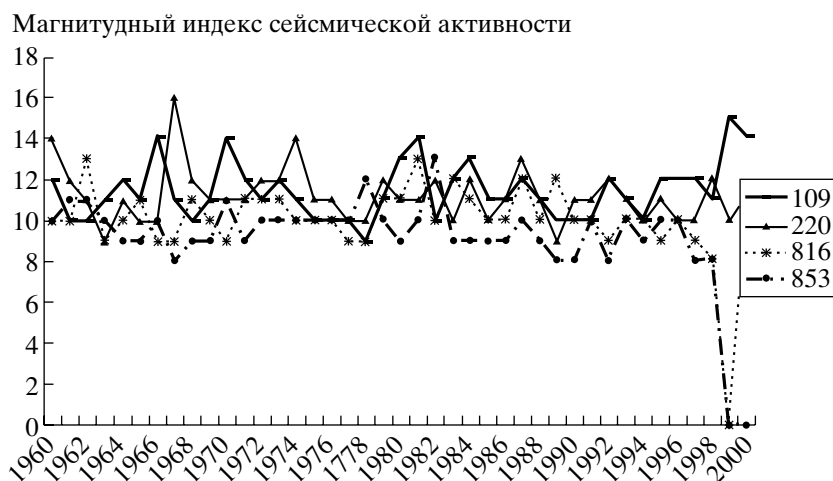


Рис. 4. Сравнительная характеристика изменения магнитудного индекса сейсмической активности по 10 и 12 энергетическим классам разлома 220.

ную зону могут вызывать её существенные структурные преобразования, в том числе и суперинтенсивные деформации [11]. Выделение нового типа современной активности разломов повышает значимость слабых воздействий на области динамического влияния разломов. Это вызывает необходимость в дополнительном анализе находящейся в напряженном и неустойчивом состоянии трещиноватой, разломно-блоковой среды литосферы и ее верхней части – земной коры под углом зрения механики разрушения больших объемов горных масс. Справедливо отмечает С.В. Гольдин: “Блочно-иерархическая структура земной коры (образованная сочетанием разломов разных рангов – С.Ш.) – не только арена, на которой разворачиваются геодинамические процессы, но и активный участник этих процессов” [13, с. 52]. Именно с этих позиций разломы являются наиболее подвижными локальными областями внутри больших объемов литосферы, вовлеченными в интенсивную деформацию при тектонической активизации. Знание периодичностей активизаций таких разломов – один из ключей к решению пространственно-временных закономерностей процессов, контролируемых разломными и разломно-блоковыми структурами литосферы.

Таким образом, введение параметра МИСА позволяет устанавливать квазипериодическое изменение активности разломов в реальном времени и классифицировать их активность в текущем столетии по магнитудному индексу, отражающему их сейсмическое “энерговыделение”. Оно, в свою очередь, фиксирует продолжающееся развитие конкретных разрывов, в областях динамического влияния которых происходит “интенсификация” разрушения.

Используя представления об областях генерации землетрясений, опубликованные в [14], объе-

дия результаты [1] с изложенными, следует признать, что сейсмический процесс в сейсмоактивной зоне, в целом хорошо и разносторонне описываемый классическими уравнениями (см. [2] и др.), контролируется прежде всего временными вариациями активности ансамбля разломов, формирующих разломно-блоковую структуру тектонически активной зоны литосферы. Эта активность ансамбля, возможно, определяется разнопериодными волновыми деформационными процессами в литосфере и продолжающейся в постоянном региональном поле напряжений деструкцией ее хрупкой части по законам разрушения малоупругой среды.

Мониторинг сейсмических событий в областях динамического влияния сейсмоактивных разломов по разработанному алгоритму дает возможность получить принципиально новые представления о комплексной короткопериодной активизации разломов и открывает пути к более углубленной оценке ее роли при разработке вопросов средне- и краткосрочного прогноза землетрясений.

Авторы благодарят акад. С.В. Гольдина за обсуждение изложенных результатов на предварительных стадиях исследований и последующие советы, учтенные при подготовке рукописи к публикации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 04-05-64348, 05-05-64327) и Программы “Физические основы и новые технологии среднесрочного прогноза землетрясений (применительно к сейсмоактивным зонам Сибири)”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шерман С.И., Сорокин А.Л., Савитский В.А. // ДАН. 2005. Т. 401. № 3. С. 395–398.

2. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.
3. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов (результаты моделирования). Новосибирск: Наука, 1983. 110 с.
4. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А. и др. Разломообразование в литосфере. Зоны растяжения. Новосибирск: Наука, 1992. 203 с.
5. Sherman S.I., Dem'yanovich V.M., Lysak S.V. // *Tectonophysics*. 2004. V. 380. P. 261–272.
6. Леви К.Г., Мирошниченко А.И., Ружич В.В. и др. // *Физ. мезомеханика*. 2000. Т. 2. № 1/2. С. 171–180.
7. Маламуд А.С., Николаевский В.Н. Циклы землетрясений и тектонические волны. Душанбе: Дошиш, 1989. 140 с.
8. Ламакин В.В. // *Природа*. 1966. № 9. С. 23–24.
9. Леви К.Г. Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск: Ин-т земной коры СО РАН, 2005. С. 5–12.
10. Гамбурцев А.Г. Сейсмический мониторинг литосферы. М.: Наука, 1992. 200 с.
11. Кузьмин Ю.О. // *Физика Земли*. 2004. № 10. С. 95–111.
12. Борняков С.А., Шерман С.И. // *Физ. мезомеханика*. 2000. Т. 3, № 4. С. 107–115.
13. Гольдин С.В. // *Физика Земли*. 2004. № 10. С. 37–54.
14. Гольдин С.В. // *Физ. мезомеханика*. 2005. № 1. С. 5–14.