

УДК 550.34.063, 550.34.06.013.24

Крипекс–исследование сейсмогеодинамической обстановки накануне сильных землетрясений континентальной части Юго–Восточной Евразии

© 2026 г. А.В. Михеева

ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Поступила в редакцию 21.11.2025 г.

Аннотация. По данным каталогов Алтае-Саянского, Байкальского и Якутского филиалов ФИЦ ЕГС РАН из сборников и журналов «Землетрясения Северной Евразии», с помощью алгоритма нахождения аномалий $K_{\text{КОР}}$ (коэффициента парной корреляции нормированного крипекса Cr_0^{cat} и магнитуды M_S), предвещающих сильные землетрясения энергетического класса $K \geq 14.8$ ($M_S \geq 6.2$), исследована динамика сейсмогеодинамического процесса накануне этих событий. Для 33% землетрясений с $K \geq 14.8$ Алтае-Саянской складчатой области, Байкальской рифтовой зоны и Якутского региона установлены длительные (от 20 суток до 10 месяцев) отрицательные аномалии $K_{\text{КОР}} \leq -0.7$ в области l удалённого влияния их очагов. Все эти события приурочены к северной границе Южно-Азиатской структуры, принадлежащей внутриконтинентальной части Юго-Восточной Евразии (аномалии в преддверии остальных событий либо положительны, либо статистически не представительны). Например, для крупнейших землетрясений Алтайского и Якутского регионов (Алтайского землетрясения: 27 сентября 2003 г., $K=17.0$ и Чарудинского-П: 11 декабря 2005 г., $K=15.9$) выявленные аномалии начинаются за 32 дня до этих событий. Эти локальные аномалии тождественны отрицательным аномалиям по предвещающей эти события сейсмичности всего соответствующего региона, что, возможно, свидетельствует о консолидации среды накануне событий в области, далеко превосходящей радиус l . Однако более длительные аномалии (от полутора до девяти лет) в окрестности l сильных землетрясений выявлены алгоритмом сканирования с помощью параметра $K_{\text{КОР}}^0$ (коэффициента парной корреляции классического крипекса Cr_0 и магнитуды M_S). Они имеют положительный знак, присутствуют перед всеми землетрясениями с $K \geq 14.8$ рассматриваемых регионов и могут свидетельствовать о более длительных процессах пластической перестройки среды в области удалённого влияния на подготовку очага крупного землетрясения.

Ключевые слова: крипекс, корреляция графиков изменения параметров землетрясений, сейсмогеодинамическая обстановка, области удалённого влияния на подготовку очага, перестройка среды накануне землетрясений.

Для цитирования: Михеева А.В. Крипекс-исследование сейсмогеодинамической обстановки накануне сильных землетрясений континентальной части Юго-Восточной Евразии // Российский сейсмологический журнал. – 2026. – Т. 8, № 1. – С. 83–91. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2026.1.06>. – EDN: QGBDNX

Введение

Соотношение энергий поверхностной и объёмной волн, распространяющихся от землетрясения, может дать информацию о состоянии геофизической среды как в очаге землетрясения (размером l_0 км), так и в удалённой от него (до расстояния l) зоне влияния на подготовку очага (охватываемой затем и последующей триггерной сейсмоактивностью за пределами очага). По соотношению поверхностной M_S и объёмной

m_b магнитуд оценивается параметр крипекс – относительный вклад пластичной или хрупкой составляющей подвижки в очаге [Прозоров, Хадсон, 1974].

Однако на рост крипекса влияет не только преобладание в подвижке очага квазипластичной составляющей, но и (при синхронности роста крипекса и магнитуды землетрясений) реологическая неоднородность среды в очаге, т.е. отсутствие её консолидации. Эта закономерность установлена при сейсмогеодинамических

исследованиях различного масштабного уровня в зонах субдукции (от локального до глобального, 87% сейсмичности которого также относится к зонам субдукции) [Михеева, Калинин, 2023; Михеева, 2023; 2025].

В частности, было эмпирически установлено, что для 30% сильнейших ($M_S \geq 8$) и некоторых сильных ($M_S \geq 7$) землетрясений мира по сопровождающей их умеренной среднеглубинной сейсмичности характерна высокая корреляция во времени параметров Cr_0^{cat} и M_S , начинающаяся за десятки дней до главного события. Прямая корреляция (синхронность) этих параметров (положительный знак коэффициента парной корреляции $K_{\text{КОР}}$ [Михеева, 2023]), может свидетельствовать (согласно общепринятым представлениям о причинах взаимосвязи крипекса с размером очага и температурой материала [Kaverina et al., 1996]) о повышенной плотностной и температурной неоднородности среды в области подготовки толчка. Отрицательный знак $K_{\text{КОР}}$ – о вовлечении в сейсмический процесс более крупных и более консолидированных блоков земной коры и об установлении пропорциональности между размерами блоков и степенью их консолидации накануне сильных толчков. Таким образом, по знаку $K_{\text{КОР}}$ оценивалась динамика напряжённо-деформированного состояния геофизической среды исследуемых областей подготовки (её консолидации или гетерогенности).

Объектом настоящего исследования являются сильные землетрясения внутри континентальных плит, а целью – проверка описанного выше подхода к исследованию различных аспектов их подготовки. При этом будем рассматривать дальнюю область подготовки, охватывающую удалённую до расстояния l зону влияния на подготовку очага.

Расчёт $K_{\text{КОР}}$ предлагается проводить в нескольких вариациях, позволяющих решать различные задачи сейсмогеодинамического исследования: длительность и параметры подготовки конкретных землетрясений и оценка геодинамического влияния окружающей обстановки в региональном и глобальном масштабах.

Краткое описание методов исследования и данных

Величина l оценивается на основе решения задачи теории упругости и превосходит размер области очага l_0 «примерно в полтора порядка» [Лермонтова, Ребецкий, 2016]. Например, если радиус очага l_0 события энергетического

класса $K=15.9$ (что по формуле ФИЦ ЕГС РАН для $K \geq 14$: $M_S=(K-8)/1.1$ соответствует магнитуде $M_S=7.18$) оценивается по формуле СП-2016 [СП 283.1325800.2016, 2016]:

$$l_0(\text{км})=10^{M_S \cdot 0.33 - 1.51}, \text{ то } l \approx 10^{M_S \cdot 0.33} \approx 234 \text{ км.}$$

Настоящее исследование проводится в среде геоинформационной системы GIS-ENDDB [Vazhenin et al., 2017] с использованием выборок региональных каталогов Алтая и Саян, Якутии, а также Прибайкалья и Забайкалья из сборников «Землетрясения в СССР» (по 1991 г.) и «Землетрясения Северной Евразии» (с 1992 по 2020 г.) [Землетрясения ..., 2024]. Выборка каталога Байкальской региональной сети с определением пар магнитуд M_S (в пересчёте из энергетического класса или локальной магнитуды ML по формулам ФИЦ ЕГС РАН) и m_b (со ссылкой на агентство ISC) содержит параметры 1031 землетрясения за период с 18 января 1967 г. по 31 декабря 2020 года. Выборка каталога Алтае-Саянской региональной сети содержит параметры 1172 землетрясений за период с 31 января 1995 г. по 31 декабря 2020 г., каталога Якутской региональной сети – 470 записей с 18 января 1967 г. по 31 декабря 2020 года. Начиная с 1989 г., описанные выборки содержат 15 землетрясений с $K \geq 14.8$: пять – в Алтае-Саянской складчатой области (АССО), шесть – в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ), четыре – в Якутии.

Исследования проводились на основе параметра нормированного крипекса Cr_0^{cat} [Михеева, 2023], определяемого как величина отклонения классического крипекса $Cr_0=M_S-m_b$ от линейного тренда распределения $Cr_0(M_S)$. Например, построенная средствами MS Excel линия тренда, усредняющая график распределения крипекса Cr_0 относительно магнитуды M_S событий Якутского каталога, имеет формулу:

$$Cr_0(M_S)=0.3366 \cdot M_S - 1.4115.$$

Эта формула будет использоваться здесь для приведения Cr_0 каждого события Якутского каталога к средним значениям этого параметра по всему каталогу. В результате рассчитывается нормированный параметр крипекса Cr_0^{Yakutia} .

Таким образом, по описанным выше выборкам региональных каталогов для расчёта параметра Cr_0^{cat} выведены следующие эмпирические соотношения:

$$Cr_0^{\text{Altay}}=M_S-m_b-0.4503 \cdot M_S+2.056,$$

$$Cr_0^{\text{Yakutia}}=M_S-m_b-0.3366 \cdot M_S+1.4115,$$

$$Cr_0^{\text{Baykal}}=M_S-m_b-0.257 \cdot M_S+1.0087.$$

Используются два метода расчёта $K_{\text{КОР}}$: в l -окрестности очагов землетрясений с $K \geq 14.8$ «с фиксированным в точке главного события правым краем скользящего временного окна» (Метод 1, обозначение $K_{\text{КОР}}$), а также по всей сейсмичности региона «с фиксированным размером скользящего временного окна», равным N точек (Метод 2, обозначение $K_{\text{КОР}}^*$). Метод 1 позволяет получить более детальное понимание динамики процесса в зоне подготовки конкретного землетрясения, а Метод 2 (более сглаженная долгосрочная динамика параметра) – возможную усреднённую оценку изменения геодинамического состояния среды в региональном масштабе.

Аномалии $K_{\text{КОР}}$ в преддверии сильнейших событий Алтайского, Якутского и Байкальского регионов

Изменение во времени параметра крипекс-магнитудной корреляции $K_{\text{КОР}}(t)$ перед сильнейшими землетрясениями Алтайского, Якутского и Байкальского регионов: Алтайского землетрясения 27 сентября 2003 г. ($M_w^{\text{GCMT}}=7.2$), Чаруодинского-II 11 декабря 2005 г. ($M_w^{\text{GCMT}}=5.7$) и Култукского 27 августа 2008 г. ($M_w^{\text{GCMT}}=6.3$),

рассчитанного Методом 1 по сейсмичности в l -окрестности их очагов, показывает динамику напряжённо-деформированного состояния среды в виде выраженной отрицательной аномалии (1 на рис. 1 б, в, г). Это может отражать процесс консолидации среды на интервале устойчивых значений $K_{\text{КОР}} \leq -0.7$, начинающихся за 32 дня до момента первых двух из перечисленных событий и за 300 дней – до третьего. Здесь M_w^{GCMT} – моментная магнитуда Гарвардского каталога CMT (Global Centroid-Moment-Tensor, <https://www.globalcmt.org>).

При этом в l -области Алтайского землетрясения отрицательная аномалия $K_{\text{КОР}}$ тождественна установленной ранее [Михеева, 2025] аномалии по сейсмичности всего Алтае-Саянского региона. Такая же картина наблюдается для Чаруодинского-II землетрясения (2 на рис. 1в). Однако для Култукского землетрясения по всей сейсмичности регионального Байкальского каталога выявляется противоположная по знаку положительная аномалия $K_{\text{КОР}}$ за 30 дней до события (3 на рис. 1б), что может указывать на активизацию в последний месяц перед землетрясением режима регионального растяжения. Возможно, знак аномалии по всей

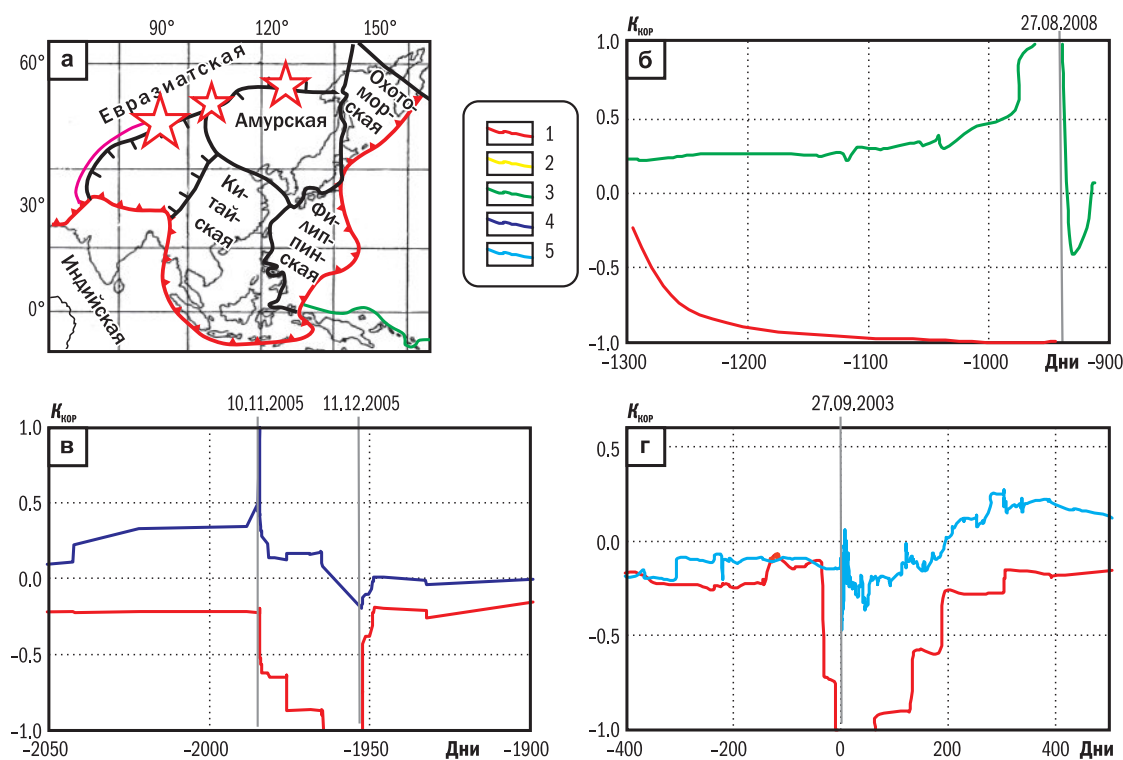


Рис. 1. расположение Алтайского, Култукского и Чаруодинского-II землетрясений на схеме Южно-Азиатской структуры (а) и графики $K_{\text{КОР}}(t)$ (цвет 1) в l -окрестности их очагов: б – Култукского (3 – по всей БРЗ); в – Чаруодинского-II (2 – по всему Якутскому региону) и Чаруодинского-I (4); г – Алтайского землетрясения (5 – график $K_{\text{КОР}}^*(t)$ по всей АССО)

сейсмичности регионального каталога накануне сильнейших землетрясений соответствует принятой геодинамической обстановке региона: регионального сжатия для Алтайского и Олёкмо-Станового регионов и регионального растяжения для Байкальской рифтовой системы. А по сейсмичности в l -окрестности будущего очага этот знак указывает на особенность именно подготовительных процессов перестройки среды, не всегда аналогичных региональным.

Длительность подготовки землетрясений с $K \geq 14.8$ исследуемых регионов (аномалии $K_{\text{КОР}}$ и $K_{\text{КОР}}^0$)

Из 15 землетрясений с $K \geq 14.8$ лишь перед тремя событиями АССО, одним из БРЗ и одним из Якутии Методом 1 установлены длительные (от 20 дней до 10 месяцев) отрицательные аномалии $K_{\text{КОР}} \leq -0.7$ в l -области удалённого влияния их очагов (1 на рис. 2). Все эти события приурочены к северной границе Южно-Азиатской структуры [Михеева, 2018], принадлежащей внутриконтинентальной части Юго-Восточной Евразии (рис. 1а). Аномалии в преддверии остальных событий либо положительны, либо статистически не представительны (менее трёх событий в цепочке). Это относится также к событиям якутского фрагмента границы ЮАС (за исключением Чаруодинского-II, являющегося повторным толчком), например, аномалия положительного знака для Южно-Якутского землетрясения 20 апреля 1989 г. (рис. 2б).

Интересно, что при использовании параметра $K_{\text{КОР}}^0$ (коэффициента парной корреляции классического крипекса Cr_0 [Прозоров, Хадсон, 1974] и магнитуды M_S) алгоритмом сканирования каталогов этих регионов выявлены значительно более протяжённые по времени (от 1.4 до 9.2 года) аномалии по сейсмичности в окрестности l сильных землетрясений (2 на рис. 2). Они имеют всегда положительный знак, присутствуют перед всеми без исключения землетрясениями с $K \geq 14.8$ и могут свидетельствовать о более длительных процессах пластической перестройки среды в области удалённого влияния на подготовку очага крупного землетрясения.

Таблица показывает длительность аномалий $K_{\text{КОР}}^0 \geq 0.7$ по сейсмичности в окрестности l и по всему региону для крупнейших землетрясений рассматриваемых регионов в период их подготовки и последующей релаксации. Длительность подготовки не пропорциональна магнитуде землетрясений. Например, для первого из главных афтершоков Алтайского землетрясения (27 сентября 2003 г., $M_w^{\text{GCMТ}}=6.4$), произошедшего через семь часов после основного толчка, предвещающая это событие аномалия значительно более длительная и включает в себя сам основной толчок. Главный афтершок Южно-Якутского землетрясения таким же образом соотносится с основным событием. Длительность аномалий некоторых связанных толчков (принадлежащих общему очагу), наоборот, ограничивается следующим или предыдущим событием (например, Алтайское землетрясение, первый и второй его афтершоки). В том числе, случай полного отсутствия предвещающей аномалии в l -радиусе Илин-Тасского (Абыйского)

Таблица показывает длительность аномалий $K_{\text{КОР}}^0 \geq 0.7$ по сейсмичности в окрестности l и по всему региону для крупнейших землетрясений рассматриваемых регионов в период их подготовки и последующей релаксации. Длительность подготовки не пропорциональна магнитуде землетрясений. Например, для первого из главных афтершоков Алтайского землетрясения (27 сентября 2003 г., $M_w^{\text{GCMТ}}=6.4$), произошедшего через семь часов после основного толчка, предвещающая это событие аномалия значительно более длительная и включает в себя сам основной толчок. Главный афтершок Южно-Якутского землетрясения таким же образом соотносится с основным событием. Длительность аномалий некоторых связанных толчков (принадлежащих общему очагу), наоборот, ограничивается следующим или предыдущим событием (например, Алтайское землетрясение, первый и второй его афтершоки). В том числе, случай полного отсутствия предвещающей аномалии в l -радиусе Илин-Тасского (Абыйского)

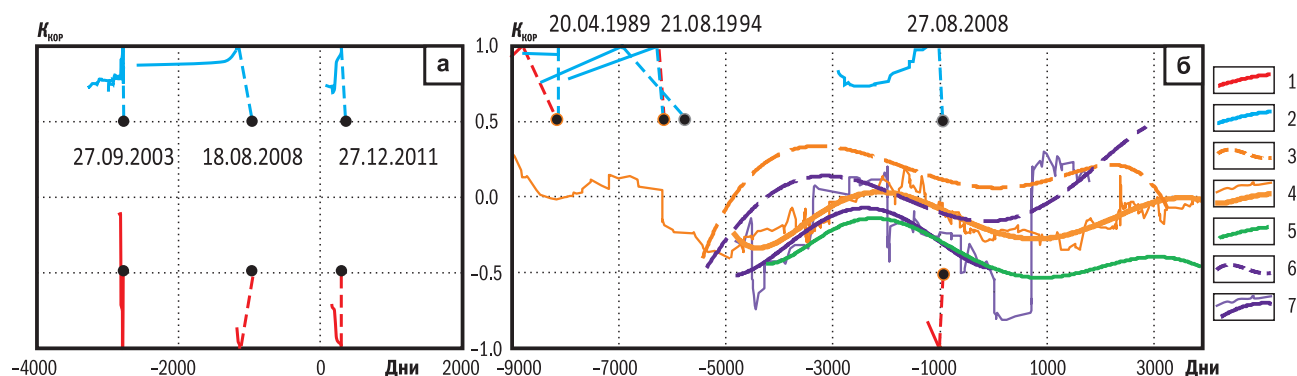


Рис. 2. Фрагменты графиков $K_{\text{КОР}}(t)$ (цвет 1) и $K_{\text{КОР}}^0(t)$ (цвет 2) с $|K_{\text{КОР}}| \geq 0.7$ в l -окрестностях землетрясений с $K \geq 14.8$: а – в АССО; б – в БРЗ с добавлением графиков: 3 – тренд (полиномиальный 6 порядка) графика $K_{\text{КОР}}^*(t)$ по всей сейсмичности БРЗ ($N=50$ точек), 4 – $K_{\text{КОР}}^*(t)$ по сейсмичности БРЗ с $M_S \geq 4$ и его тренд за 1995–2020 гг., 5 – тренд по глобальной сейсмичности каталога GCMТ, 6 – тренд графика $K_{\text{КОР}}^*(t)$ по всей сейсмичности Якутского региона ($N=20$ точек), 7 – $K_{\text{КОР}}^*(t)$ по сейсмичности Якутского региона с $M_S \geq 4$ и его тренд за 1995–2012 гг.

Чёрными точками отмечены моменты землетрясений с $K \geq 14.8$ в АССО (а) и БРЗ (б)

землетрясения обусловлен малым количеством событий в его окрестности (два события) после Андрей-Тасского землетрясения (пространственно все они принадлежат одному очагу). Наличие отрицательной аномалии в течение 25 дней перед Илин-Тасским (Абыйским) землетрясением по всем событиям каталога можно объяснить кардинальной перестройкой геодинамического режима региона в сторону роста его консолидации. С другой стороны, есть землетрясения, положительные аномалии которых столь длительны, что ограничиваются началом или концом всего периода наблюдений соответствующего каталога. Например, в l -радиусах Чаруодинских I и II, Андрей-Тасского, Белин-Бий-Хемского землетрясений и главного афтер-

шока Южно-Якутского (а для Тувинского землетрясения с учётом всех событий каталога) — она зарождается с начала каталога, а в l -окрестности Култукского землетрясения — завершается его концом.

Одну из самых протяжённых аномалий $K_{\text{КОР}}^0 \geq 0.7$ имеет Култукское землетрясение (4 на рис. 3). О том, что охватываемый им период времени (до момента события) можно считать периодом подготовки, свидетельствует также поведение графиков крипекса. Например, график $Cr_0(t)$ (2 на рис. 3) достигает максимальных значений в начале аномалии $K_{\text{КОР}}^0 \geq 0.7$ и в момент Култукского события, отражая абсолютное преобладание квазипластичной составляющей движения в моменты этих событий (вследствие возможной

Таблица. Длительность аномалий $K_{\text{КОР}}^0 \geq 0.7$ до и после сильнейших с $K \geq 14.8$ землетрясений в АССО (1–5), БРЗ (6–11) и Якутии (12–15)

№	Дата, дд.мм.гггг	$M_w^{\text{GCMТ}}$	l (км)	Название или область	В окрестности l , длительность в сут. (до / после)	Во всём регионе, длительность в сут. (до / после)
1	27.09.2003	7.2	501	Алтайское	826 / 2	351 / 2
2	27.09.2003	6.4	380	афтершок Алтайского	3141 / 1	472 / 1
3	01.10.2003	6.6	331	афтершок Алтайского	3.4 / 9	3.4 / 9
4	16.08.2008	5.7	126	Белин-Бий-Хемское	5352 / 0	1817 / 0
5	27.12.2011	6.7	288	Тувинское	1172 / 60	8760 / 60
6	20.04.1989	6.3	355	Южно-Якутское	6102 / 5846	327 / 1001
7	29.04.1989	5.4	178	афтершок Южно-Якутского	8288 / 6845	335 / 183
8	27.12.1991	6.3	288	Бусингольское	3014 / 5.6	596 / 5.6
9	21.08.1994	6.0	178	в Чарской впадине	1794 / 648	985 / 648
10	13.11.1995	5.8	126	Южно-Муйское	5466 / 74	1435 / 74
11	27.08.2008	6.3	234	Култукское	3986 / 4578	549 / 0
12	10.11.2005	5.8	204	Чаруодинское-I	2998 / 2289	1388 / 974
13	11.12.2005	5.7	110	Чаруодинское-II	3030 / 0.25	1310 / 0.25
14	22.06.2008	6.1	191	Андрей-Тасское	4376 / 718	847 / 221
15	14.02.2013	6.7	144	Илин-Тасское (Абыйское)	0 / 0	25 (–) / 0

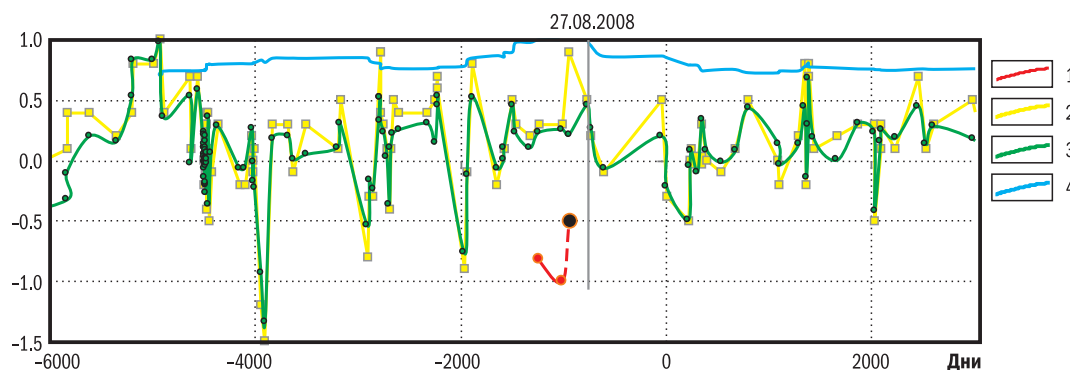


Рис. 3. Пример изменения исследуемых параметров в l -окрестности Култукского землетрясения в период его подготовки.

1 — $K_{\text{КОР}}(t)$ (фрагмент с $|K_{\text{КОР}}| \geq 0.7$), 2 — $Cr_0(t)$, 3 — $Cr_0^{\text{cat}}(t)$, 4 — $K_{\text{КОР}}^0(t)$ (фрагмент с $|K_{\text{КОР}}^0| \geq 0.7$)

активизации флюидометаморфогенных процессов). А на отрезке между этими максимумами наблюдается повышенная частота точек с минимальными отрицательными (менее -0.5) значениями графика $Cr_0(t)$, а также $Cr_0^{cat}(t)$, что может отражать вовлечение в сейсмический процесс консолидированных блоков земной коры (их хрупкое разрушение).

О возможном влиянии окружающей геодинамической обстановки на сейсмичность рассматриваемой области (аномалии $K_{КОР}^*$)

Для исследования вопроса о влиянии окружающей геодинамической обстановки на подготовку сильных землетрясений рассматриваемых регионов была рассмотрена усреднённая динамика крипекс-магнитудной корреляции $K_{КОР}^*(t)$ по землетрясениям каталога за весь период наблюдений. На интервале после 1995 г. синхронные между собой тренды графиков $K_{КОР}^*(t)$ Байкальского (3 на рис. 2б) и Якутского (6 на рис. 2б) регионов показывают периодичность, совпадающую с периодом изменения мирового тренда $K_{КОР}^*(t)$, полученного в [Михеева, 2024] (5 на рис. 2б). А при рассмотрении сейсмичности $M_s \geq 4$ периодичность трендов $K_{КОР}^*(t)$ Байкальского и Якутского регионов (4 и 7 на рис. 2б соответственно) соответствует глобальному тренду и по фазе. Для умеренной сейсмичности БРЗ эта синхронность объясняется прямой связью её геодинамики с тихоокеанскими зонами субдукции, периодическая (возможно, связанная с ротационной тектоникой) активизация которых сопровождается эпизодами отодвигания Амурской плиты от Евразии, вызывая растяжение и сбросовые подвижки в БРЗ. Для Якутского региона также очевидна связь с глобальными процессами растяжения-сжатия на интервале с 1998 г. по январь 2013 г. (после которого график $K_{КОР}^*(t)$ показывает выраженную отрицательную аномалию накануне и после Илин-Тасского землетрясения, свидетельствующую о кардинальной перестройке среды в регионе).

Для графика $K_{КОР}^*(t)$ по сейсмичности Алтае-Саянской складчатой области подобной синхронности с мировым трендом не выявлено [Михеева, 2025]. Это можно объяснить тем, что поведение мирового тренда на 80–90% определяется сейсмичностью в зонах субдукции, а алтайские землетрясения приурочены не только к континентальной части Южно-Азиатской глубинной мегаструктуры, включающей сейсмофокальные зоны южно-азиатской окраины Евразии, но и к зоне геодинамического воздействия со стороны Индо-Евразийской коллизии.

Обсуждение

Использование предлагаемой в работе методики сейсмогеодинамического исследования различного масштабного уровня на примере континентальных регионов Юго-Восточной Евразии позволило предположить следующую картину подготовки крупных землетрясений рассматриваемых регионов. Эпизоды глобального тектонического сжатия периодически активизируют сейсмичность границ региональной структуры ЮАС: во-первых – её северной границы (приводя к повышению напряжений в разномасштабных жёстких блоках Байкальской рифтовой зоны и Якутии), во-вторых – тихоокеанские субдукционные процессы, приводящие к отодвиганию Амурской плиты от Евразии в северо-западно-юго-восточном направлении (формируя региональное растяжение БРЗ), и в-третьих – коллизию Индийской плиты, дальнедействующее влияние которой может приводить к повышению напряжений в жёстких блоках Алтая.

Заключение

С помощью рассчитанных различными методами параметров крипекса Cr и крипекс-магнитудной корреляции $K_{КОР}$ для континентальной части Южно-Азиатской структуры удалось выявить не только общие закономерности изменения состояния среды накануне крупнейших землетрясений ($K \geq 14.8$) в локальном и региональном масштабах, но и некоторые закономерности глобального уровня.

В частности, для трети землетрясений с $K \geq 14.8$ подтверждается предваряющая их (за месяц и более) консолидация среды в дальней зоне подготовки их очагов, а для Алтайского и Якутского регионов – по всему региону в целом.

Усреднённая динамика $K_{КОР}^*(t)$ (корреляции временных рядов $M_s(t)$ и $Cr(t)$ в скользящем временном окне фиксированного размера) по умеренной сейсмичности Байкальского и Якутского регионов соответствует обнаруженным ранее периодическим изменениям этого параметра в глобальном масштабе. Синфазность изменений параметра $K_{КОР}^*$, рассчитанного по магнитудам различных агентств (по данным ФИЦ ЕГС РАН и данным глобального СМТ-каталога) свидетельствует об универсальности этой характеристики сейсмического режима, выявившей влияние глобального геодинамического процесса на сейсмичность меньших масштабных уровней.

Наиболее длительные аномалии положительного знака в окрестности / сильных

землетрясений рассматриваемых регионов, присутствующие перед всеми землетрясениями $K \geq 14.8$, выявлены с помощью параметра $K_{\text{КОР}}^0(t)$ (корреляции временных рядов $M_S(t)$ и классического крипекса $Cr_0(t)$ в скользящем окне с фиксированным правым краем). Они могут свидетельствовать о более длительных подготовительных процессах пластической перестройки среды (гидростатического давления, флюидного привноса вещества) в области удалённого влияния на подготовку очага крупного землетрясения. Выявленные для 100% сильных землетрясений регионов (исключая отдельные повторные толчки) долговременные положительные аномалии являются убедительным аргументом в пользу существования масштабных предвестниковых процессов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН № FWNM-2025-0004.

Литература

- Землетрясения Северной Евразии*. Содержание выпусков // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – [Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/contents.html>
- Лермонтова А.С., Ребецкий Ю.Л.* О проблеме дальнедействия аномалии напряжённого состояния включения/разрыва в среде, находящейся в закритическом состоянии // Четвертая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Материалы докладов Всероссийской конференции – в 2-х томах. Т. 1. – М.: ИФЗ РАН, 2016. – С. 470–474. – EDN: WZRYKB
- Михеева А.В., Калинин И.И.* О влиянии предполагаемого глобального глубинного разлома на сильные землетрясения Индонезии // Российский сейсмологический журнал. – 2023. – Т. 5, № 4. – С. 52–64. – DOI: 10.35540/2686-7907.2023.4.04. – EDN: XOVVHA
- Михеева А.В.* Об особенностях изменения геодинимической обстановки до и после Алтайского землетрясения // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2025. – Т. 4. – С. 112–119. – DOI: 10.33764/2618-981X-2025-4-112-119. – EDN: GDUTSP
- Михеева А.В.* Распределение параметра крипекс-магнитудной корреляции для сейсмичности больших глубин в контексте глобальной тектоники // Российский сейсмологический журнал. – 2024. – Т. 6, № 4. – С. 53–64. – DOI: 10.35540/2686-7907.2024.4.04. – EDN: ZZRHDP
- Михеева А.В.* Южно-Азиатская мегаструктура по данным геоинформационной системы GIS-ENDDB // Геоинформатика. – 2018. – № 4. – С. 2–13. – EDN: YPXHPN
- Михеева А.В.* Динамика параметров среднеглубинной сейсмичности перед крупными землетрясениями южно-азиатских сейсмофокальных зон // Российский сейсмологический журнал. – 2023. – Т. 5, № 2. – С. 51–60. – DOI: 10.35540/2686-7907.2023.2.04. – EDN: CGGHOM
- Прозоров А.Г., Хадсон Д.* Зависимость между MLH и MPV от региональных условий и локальных взаимосвязей // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений: в 2-х томах. Т. 2. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. – С. 208–216.
- СП 283.1325800.2016.* Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования. – Введ. 2017-06-17. – М., 2016. – 17 с. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293745/4293745479.pdf>
- Kaverina A.N., Lander A.V., Prozorov A.G.* Global creepex distribution and its relation to earthquake-source geometry and tectonic origin // *Geophysical Journal International* – 1996. – V. 125, N 1. – P. 249–265. – DOI: 10.1111/j.1365-246X.1996.tb06549.x
- Vazhenin A.P., Mikheeva A.V., Dyadkov P.G., Marchuk A.G.* The software using digital databases and GIS interface for detecting geodynamic structures // *New trends in intelligent software methodologies, tools and techniques* / Eds. H. Fujita, E. Herrera-Viedma. – Amsterdam, Netherlands: IOS Press, 2017. – P. 576–592. – DOI: 10.3233/978-1-61499-800-6-576576

Сведения об авторе

Михеева Анна Владленовна, канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН), г. Новосибирск, Россия. E-mail: anna@omzg.sccc.ru

Creepex–study of the seismic–geodynamic situation on the eve of strong earthquakes in the continental part of southeastern Eurasia

© 2026 A.V. Mikheeva

ICM&MG SB RAS, Novosibirsk, Russia

Received November 21, 2025

Abstract According to the catalogues of the Altai-Sayan, Baikal and Yakut branches of the GS RAS from the collections “Earthquakes of Northern Eurasia” using the algorithm for finding K_{COR} anomalies (the coefficient of paired correlation of the normalized creepex Cr_0^{cat} and magnitude M_s), preceding strong earthquakes of energy class $K \geq 14.8$ ($M_s \geq 6.2$), the dynamics of the seismic-geodynamic process on the eve of these events is investigated. Starting in 1989, 33% of earthquakes of $K \geq 14.8$ in the Altai-Sayan folded region, the Baikal rift zone, and the Yakut region have the long-term (from 20 days to 10 months) negative anomalies of $K_{COR} \leq -0.7$ in the l-area of remote influence on their foci preparation. All these events are confined to the northern border of the South Asian structure, which belongs to the inland part of southeastern Eurasia (anomalies on the eve of other events are either positive or statistically unrepresentative). For example, for the largest earthquakes in the Yakutsk and Altai regions (Altai earthquake of September 9, 2003, $K=17$ and Charudinsk-II of December 11, 2005, $K=15.9$) the detected anomalies begin 32 days before these events. They are identical to negative anomalies in terms of the seismicity of the entire region preceding these events, which probably indicates the consolidation of the environment on the eve of events in an area far exceeding the radius of l. However, when using the K_{COR}^0 parameter (the pair correlation coefficient of the classical creepex Cr_0 and magnitudes M_s), the scanning algorithm for catalogs of these regions revealed significantly longer positive seismic anomalies in the l-vicinity of strong earthquakes (from one and a half to nine years). They are present before all $K \geq 14.8$ earthquakes without exception and may indicate longer processes of plastic restructuring of the environment in the area of remote influence on the preparation of a major earthquake.

Keywords Mid-depth seismicity, focal mechanism, creepex, correlation of graph changes in earthquake parameters.

For citation Mikheeva, A.V. (2026). [Creepex-study of the seismic-geodynamic situation on the eve of strong earthquakes in the continental part of southeastern Eurasia]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 8(1), 83-91. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2026.1.06>. EDN: QGBDNX

References

- GS RAS. (2024). *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii. Soderzhanie vypuskov* [Earthquakes of Northern Eurasia. Contents of the issues]. Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/contents.html>
- Kaverina, A.N., Lander, A.V., & Prozorov, A.G. (1996). Global creepex distribution and its relation to earthquake-source geometry and tectonic origin. *Geophysical Journal International*, 125(1), 249-265. DOI: 10.1111/j.1365-246X.1996.tb06549.x
- Lermontova, A.S., & Rebetsky, Yu.L. (2016). [On the problem of long-range anomalies of the stressed state of inclusion/rupture in an environment in a critical state]. In *Chetvertaia tektonofizicheskaiia konferentsiia v IFZ RAN. Tektonofizika i aktual'nye voprosy nauk o Zemle: Materialy dokladov Vserossiiskoi konferentsii – v 2-kh tomakh. T. 1* [The Fourth Tectonophysical Conference at the IPE RAS. Tectonophysics and Current Issues in Earth Sciences: Proceedings of the All-Russian Conference – in 2 volumes. Vol. 1.] (pp. 470-474). Moscow, Russia: IPE RAS Publ. (In Russ.). EDN: WZRYKB
- Mikheeva, A.V. (2018). [South Asian megastructure according to the data of GIS-ENDDB]. *Geoinformatika* [Geoinformatics], 4, 2-13. (In Russ.). EDN: YPXHPN
- Mikheeva, A.V. (2023). [On the influence of the supposed global deep fault on the strong earthquakes in Indonesia]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 5(4), 52-64. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2023.4.04. EDN: XOVVHA
- Mikheeva, A.V. (2024). [Distribution of the creepex-magnitude correlation parameter for big-depth seismicity

- in the context of global tectonics]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 6(4), 53-64. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2024.4.04. EDN: ZZRHDP
- Mikheeva, A.V. (2025). [On the features of change in the geodynamic setting before and after the 2003 Altai earthquake]. *Interexpo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia], 4, 112-119. (In Russ.). DOI: 10.33764/2618-981X-2025-4-112-119. EDN: GDUTSP
- Mikheeva, A.V., & Kalinnikov, I.I. (2021). [Creepex-analysis of processes in focal zones of large earthquakes by means of GIS-ENDDB]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(4), 7-17. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2021.4.01. EDN: HCYJIL
- Prozorov, A.G., & Hudson, D. (1974). [Dependence between MLH and MPV on regional conditions and local interconnections]. In *Magnituda i energeticheskaya klassifikatsiya zemletryasenyi. T. 2* [Magnitude and energy classification of earthquakes. Is. 2] (pp. 208-216). Moscow, Russia: IPE AS USSR Publ. (In Russ.). SP 283.1325800.2016. *Ob"ekty stroitel'nye povyshennoi otvetstvennosti. Pravila seismicheskogo mikroraiionirovaniia* [High critical building objects. Rules of seismic microzonation]. (2016). Moscow, Russia, 17 p. (In Russ.). Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293745/4293745479.pdf>
- Vazhenin, A.P., Mikheeva, A.V., Dyadkov, P.G., & Marchuk, A.G. (2017). The Software using digital databases and GIS interface for detecting geodynamic structures. In *New trends in intelligent software methodologies, tools and techniques* (pp. 576-592). Amsterdam, Netherlands: IOS Press. DOI: 10.3233/978-1-61499-800-6-576576

Information about author

Mikheeva Anna Vladlenovna, PhD, Researcher of the Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ICM&MG SB RAS), Novosibirsk, Russia. E-mail: anna@omzg.sccc.ru