

3. Вольдек А.И. Электрические машины: учеб. для высш. техн. заведений. 3-е изд. – Л.: Энергия, 1978. – С. 510–514.

4. Марченко А.А., Портнягин Н.Н. Моделирование процесса динамического нагружения асинхронного электродвигателя // Современ. проблемы науки и образования. – Пенза, 2012. – № 6. – С. 125–125.

5. Марченко А.А., Портнягин Н.Н. Исследование процесса динамического нагружения асинхронного электродвигателя // Фундам. исслед. – 2013. – № 1–2. – С. 408–412.

УДК 519.24:550.34.01(292.518)

А.В. Попова^{1,3}, О.В. Шереметьева^{1,2,3}

¹Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
Камчатский край, с. Паратунка, 684034;

²Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский, 683003;

³Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, 683032
e-mail: olga.v.sheremetyeva@gmail.com

ХАРАКТЕРИСТИКИ СДВИГОВОГО ТЕЧЕНИЯ В ЗОНЕ СУБДУКЦИИ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ С УЧЕТОМ НЕЛОКАЛЬНЫХ СВОЙСТВ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

В работе проводится исследование нелокальных деформационных эффектов в сдвиговом течении для зоны субдукции Курило-Камчатской островной дуги (значения магнитуд – 4,5–7,7, рассматриваемая область – 50°–60° с. ш., 156°–166° в. д., объем выборки – 221 событие) на основании статистической модели, построенной по данным каталога тензоров сейсмических моментов за период 1976–2005 гг.

Ключевые слова: статистические методы, пространственно-временные закономерности, сдвиговое течение, нелокальные деформационные характеристики.

A. V. Popova¹, O. V. Sheremetyeva^{1,2,3} (¹Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation, Paratunka, Kamchatka, 684034; ²Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003; ³Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683032) **The characteristics of shear flow in Kuril-Kamchatka island arc subduction zone considering nonlocal properties of a seismic process**

The article proposes the investigation of shear flow nonlocal deformation effects in Kuril-Kamchatka island arc subduction zone (magnitude values are 4,9–7,7, area is 50°–60° N, 156°–166° E, sample volume is 221 events) on the basis of a statistical model built according to the Global CMT catalog for the period of 1976–2005.

Key words: statistical methods, spatio-temporal laws, shear flow, nonlocal deformation characteristics.

Введение

Специалистами в области сейсмологии установленным фактом является наличие закономерностей, в которых проявляется связь между сейсмическими событиями во времени и пространстве [1–7]. Исследование данной работы базируется на статистической модели сейсмического процесса, представленной авторами в статье [8]. Сейсмический процесс традиционно рассматривается как сложный пуассоновский и раскладывается на составляющие по энергиям, при этом вероятность появления следующего события заданной энергии будет зависеть только от времени $P_i(t)$. Однако для каждой составляющей может быть задано распределение событий в пространстве, что расширяет круг параметров в формуле для нахождения вероятности следующего события. При таком подходе полученный процесс представляет из себя композицию вложенных процессов, где вероятность появления события с номером i является функцией от пространственно-временных параметров (t и r) и энергии (E) предыдущих событий $P_i(t, r, E)$. Обобщением такого рода дискретных случайных процессов является процесс случайных блуж-

даний [7, 9], которому в свою очередь может быть сопоставлен обобщенный диффузионный процесс [10, 11]. Такой подход определяется тем, что сейсмические явления можно рассматривать как слабые флуктуации, поскольку пространственный масштаб региона, в котором развивается геодинамический процесс, как правило, значительно превосходит размер очага землетрясения и радиус области влияния, в которой сбрасываются напряжения (т. е. выполняется критерий малости приращений, которые могут оказывать влияние на значительных масштабах). Исходя из теоретических предпосылок принятой феноменологической модели, в работе [8] были установлены критерии попарной связанности событий в соответствии с понятием зоны влияния сейсмического события, то есть вводились масштабы, на которых пару событий можно считать связанной: во-первых, сложный пуассоновский процесс раскладывается на составляющие по энергиям событий, что задает энергетический масштаб, во-вторых, для каждой составляющей пуассоновского процесса определялся временной масштаб, используя известный закон Гутенберга – Рихтера, и, в-третьих, для каждой составляющей устанавливалась попарная связанность событий путем введения пространственного масштаба на основании линейной теории упругости.

Такого рода работы проводились и ранее, например, в исследовании [12] связь между событиями вводилась, руководствуясь размером зоны частичных разрушений, то есть зоны разломов или системы форшоков и афтершоков в совокупности с главным ударом, и определялась пространственной близостью между событиями, попавшими в интервал времени, который не превышает временной масштаб, определяемый энергиями событий в линейных конструкциях. Таким образом, события считались *почти одновременными*, а *пространственный радиус корреляции* оценивался по количеству событий в линейных конструкциях и в критических условиях стремился к бесконечности. Этот критерий связанности событий в пространстве более жесткий, чем в работе [7], где использовалась зона влияния, определяющаяся упругими локальными деформациями. В работах [7, 9] определены критерии попарной связанности событий *на заданных пространственно-временных масштабах* и сейсмический каталог разложен на множество последовательностей, каждая из которых представляет собой *процесс марковского типа*, что отличает это исследование по сути от работы [12]. В исследовании [8] авторами были развиты идеи работы [7] путем включения в определение пространственного масштаба новых характеристик, таких как *ориентация плоскости разрыва, направление и абсолютная величина смещения* [13–15]. Пара событий, попавших внутрь области, ограниченной заданными масштабами, может считаться связанной и образует самую простую нелокальность – парную. Когда такие пары образуют цепи из трех и более событий, можно говорить о связанности событий в каталоге, зависимости приращений и возникновении нелокальных деформационных эффектов [7, 9, 12, 16].

В данной статье предполагается, что землетрясения можно представить в виде потока попарно связанных случайных событий, длину цепи которых можно трактовать как меру нелокальности в марковской последовательности, так как если при построении цепи использовать только временной масштаб, то образуются простые марковские цепи с независимыми приращениями. Когда включается и пространственный масштаб, в цепи может возникнуть нелокальность, а значит зависимость приращений [7]. При стремлении числа звеньев в цепи к бесконечности получается принципиально не марковский процесс, однако установить последнее невозможно из-за ограниченности статистики, но есть возможность исследовать каталог на наличие зависимых событий на основе сформулированной стохастической модели. Расширение вероятностных параметров позволяет представить сейсмический процесс как поток случайных событий с заданными направлениями смещений и рассматривать его как сдвиговое течение в регионе, маркерами которого являются сейсмические события, объединяемые в кластеры.

При выборе реального каталога для построения исследования необходимым условием было наличие в данных каталога параметров, определяющих направление и величину смещения вдоль дислокации, которому полностью соответствует только каталог тензоров сейсмических моментов [17].

Целью работы является исследование каталога землетрясений [17] для зоны субдукции Курило-Камчатской островной дуги за период 1976–2005 гг. (значения магнитуд – 4–7, рассматриваемая область – 50° – 60° с. ш., 156° – 166° в. д., объем выборки – 221 событие) на возможность обнаружения связанных событий с использованием модели Добровольского и Миндлина для определения пространственного радиуса влияния события [18, 19], и анализ параметров построенного сдвигового

течения в регионе, в том числе направлений и скоростей течения, которые характеризуют направленность и скорость сейсмогеодинамических процессов в регионе [14, 15, 20–22].

Характеристики кластеров в сдвиговом течении

Построение последовательности связанных сейсмических событий, образующих кластер в сдвиговом течении, определяется близостью событий в будущем по отношению к инициирующему событию на основании введенных в [8] критериев. В область влияния более раннего (инициирующего) сейсмического события с номером i будут попадать события с номерами j , удовлетворяющие следующим критериям:

- временной промежуток между рассматриваемым и инициирующим событиями не превышает временной масштаб инициирующего события;
- расстояние между гипоцентрами рассматриваемой пары сейсмических событий не превышает пространственный радиус влияния инициирующего события, а углы отклонения направлений подвижек рассматриваемой пары сейсмических событий не превышают угол рассеяния $MAD = 24^\circ$ для рассматриваемой выборки, то есть пространственные параметры не должны превышать пространственный масштаб инициирующего события;
- среди совокупности событий, попавших в пространственно-временную область с учетом направления смещения, выбирается событие с сопоставимой энергией (или магнитудой).

Используя вышеприведенный алгоритм построения кластера связанных событий, описанный в работе [8], из 221 события выборки, диапазон глубин которых попадает в промежуток 10-60 км, были построены кластеры. Выбор промежутка глубин объясняется отличием механизма землетрясений, происходящих на большей глубине [15], и равномерностью распределения сейсмических событий в выбранном диапазоне.

При построении кластеров применялись два определения пространственного радиуса влияния сейсмического события: на основании модели Добровольского [18] и модели Миндлина [19], значения первого из которых в среднем в 3,5 раза превышают значения второго пространственного радиуса, а коэффициент корреляции между этими рядами данных составил 0,988. На основании этих теоретических предпосылок естественно предположить получение более протяженных кластеров связанных сейсмических событий в случае применения модели Добровольского для расчетов пространственного радиуса.

В результате применения статистической модели построения сдвигового течения для зоны субдукции Курило-Камчатской островной дуги при использовании модели Добровольского для вычисления пространственного радиуса влияния события из всей выборки оказалось 62% связанных событий, а при использовании пространственного масштаба, вычисленного по модели Миндлина, из всей выборки оказалось 34% связанных событий. Сужение пространственной области влияния события изменило характеристику связанности выборки в сторону уменьшения. Однако в обоих случаях присутствуют связанные события, и эти результаты указывают на наличие нелокальных эффектов, то есть дальних корреляций по пространству (нелокальность) и времени (память), которые в рамках теории пластичности связаны с усилением вязких или хрупких процессов, а с точки зрения статистической теории это – проявления аномальных запаздываний и дальних пространственных корреляций. Такого рода изменения свойств среды приводят к менее наблюдаемым эффектам и выражаются в особенностях блужданий.

Наличие нелокальных деформационных эффектов, проявляющихся в образовании кластеров связанных событий в сдвиговом течении, используем для исследования характеристик сдвигового течения в регионе. Для построенных кластеров определим следующие характеристики: количество включенных событий k , период времени существования кластера τ [дни], средняя энергия [Дж], среднее смещение u [см], угол γ между проекцией на плоскость поверхности Земли главного направления смещения в кластере и направлением на север в локальной системе координат, среднеквадратическое отклонение (MAD), средняя скорость v течения в кластере, скорость относительной деформации ε .

Суммарная энергия, определяющая напряженно-деформированное состояние в кластере, вычислялась по формуле (1) из сейсмической энергии включенных в него событий:

$$E = \sum E_i, \quad (1)$$

где $E_i = 10^{1,5M_L + 4,8}$ – энергия события, M_L – магнитуда событий.

Среднее смещение u вычислялось по формуле:

$$u = \frac{\sum_{i=1}^k u_i}{k}, \quad (2)$$

где u_i – величина смещения для события с номером i , попавшего в кластер, определялась по формуле [13, 23]

$$u_i = \frac{M_{oi}}{\mu S_i}, \quad (3)$$

где M_{oi} – сейсмический момент i -го события, S_i – площадь очага i -го события [23], μ – модуль сдвига среды (для базальта $\mu = 3,14 \cdot 10^{10}$ [Н/м²]).

Среднюю скорость течения в кластере находили по формуле

$$v = \frac{\sum_{i=1}^k u_i}{\tau}. \quad (4)$$

Средняя скорость движения литосферной плиты на поверхности в зоне субдукции Курило-Камчатской островной дуги, измеренная по данным GPS наблюдений, равна 8 см/год [20]. Скорость относительной деформации рассматриваемого сдвигового течения вычислялась с помощью отношения

$$\varepsilon = \frac{v-8}{h_{\max}}. \quad (5)$$

Значения характеристик сдвигового течения, вычисленные по формулам (1)–(5), приведены в табл. 1 и 2, где номер кластера соответствует номеру первого события в кластере.

Таблица 1

Характеристики сдвигового течения (использовался пространственный радиус Добровольского)

№	k	τ , дни	E , Дж	u , см	γ , градусы	MAD , градусы	v , см/год	ε , год ⁻¹
23	10	8405	$2,2 \cdot 10^{15}$	35	311,7	18,6	15	$2,1 \cdot 10^{-6}$
47	11	6362	$7,7 \cdot 10^{14}$	26	307,2	9,8	17	$2,4 \cdot 10^{-6}$
62	10	3251	$4,8 \cdot 10^{13}$	17	302,6	10,9	19	$3,3 \cdot 10^{-6}$
77	10	2385	$2,4 \cdot 10^{13}$	14	299,3	12,9	21	$3,4 \cdot 10^{-6}$
90	10	1179	$7,8 \cdot 10^{12}$	10	307,5	9,2	30	$5,9 \cdot 10^{-6}$
131	7	213	$4,1 \cdot 10^{12}$	8	312,1	12,6	98	$3,4 \cdot 10^{-5}$

Таблица 2

Характеристики сдвигового течения (использовался пространственный радиус, вычисленный по модели Миндлина)

№	k	τ , дни	E , Дж	u , см	γ , градусы	MAD , градусы	v , см/год	ε , год ⁻¹
8	4	2	$9,2 \cdot 10^{12}$	11	229,2	4,8	7745	$4,4 \cdot 10^{-3}$
46	6	6625	$1,9 \cdot 10^{14}$	23	227,7	10,5	8	$9,5 \cdot 10^{-8}$
88	6	810	$1,6 \cdot 10^{13}$	12	311	12,3	32	$9,9 \cdot 10^{-6}$
94	4	1	$1,5 \cdot 10^{13}$	10	303,4	10,7	14932	$6,8 \cdot 10^{-6}$
111	4	267	$4,8 \cdot 10^{13}$	15	244,8	12	85	$3,0 \cdot 10^{-5}$
112	5	20	$5,7 \cdot 10^{12}$	9	298,6	10,8	825	$4,0 \cdot 10^{-4}$
124	4	535	$1,3 \cdot 10^{13}$	11	235,9	12,3	31	$6,6 \cdot 10^{-6}$

Среди кластеров, полученных с применением пространственного радиуса Добровольского (табл. 1), наибольшую суммарную энергию имеет кластер № 23, определяемый десятью событиями, который охватывает временной период 22,7 года и всю рассматриваемую область. Кластер № 47 – это его подструктура, которая занимает практически ту же пространственно-временную область, но имеет меньшую суммарную энергию. Подструктурами кластера № 47 с меньшими энергиями являются кластеры № 62, № 77, № 90, № 131. При использовании в алгоритме пространственного радиуса, вычисленного с использованием модели Миндлина (табл. 2), выстраиваются кластеры меньшей протяженности. Как правило, они являются составными частями тех кластеров, которые получены с применением радиуса Добровольского. Таким образом, уменьшение радиуса влияния инициирующего события

приводит к уменьшению числа связанных событий и, как следствие, к укорачиванию длины кластера и увеличению числа независимых кластеров. Кластеры, характеристики которых приведены в табл. 1 и 2, изображены соответственно на рис. 1 и 2.

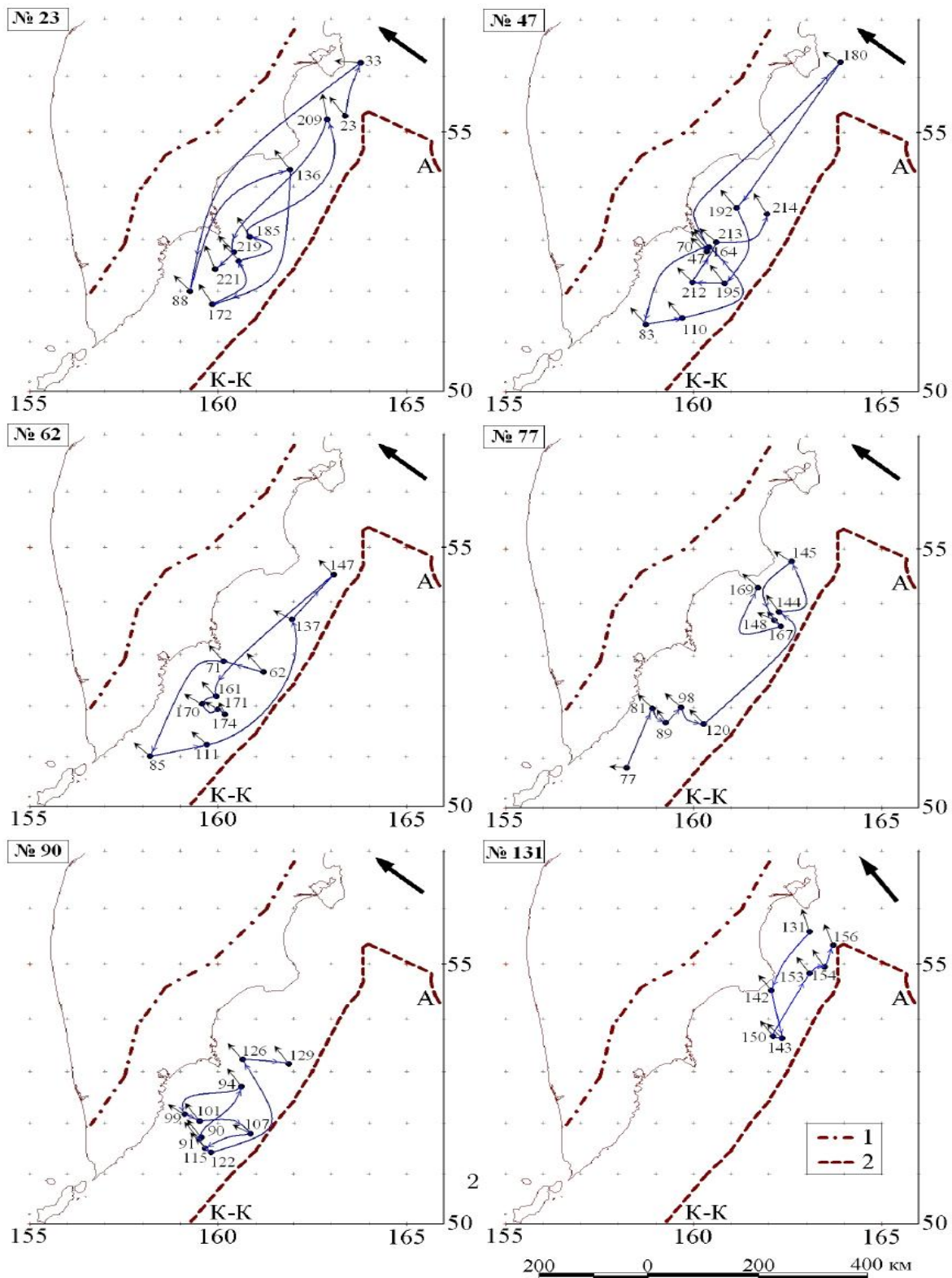


Рис. 1. Наиболее крупные кластеры в сдвиговом течении, полученные при использовании пространственного радиуса влияния, вычисленного по модели Добровольского. Обозначения: 1 – схематичное изображение крупнейших разломов, 2 – оси глубоководных желобов: Курило-Камчатского (К-К) и Алеутского (А); черными стрелками изображены проекции направлений дислокационных смещений; большой стрелкой – проекция главного направления течения в кластере; синими стрелками последовательно соединены связанные события

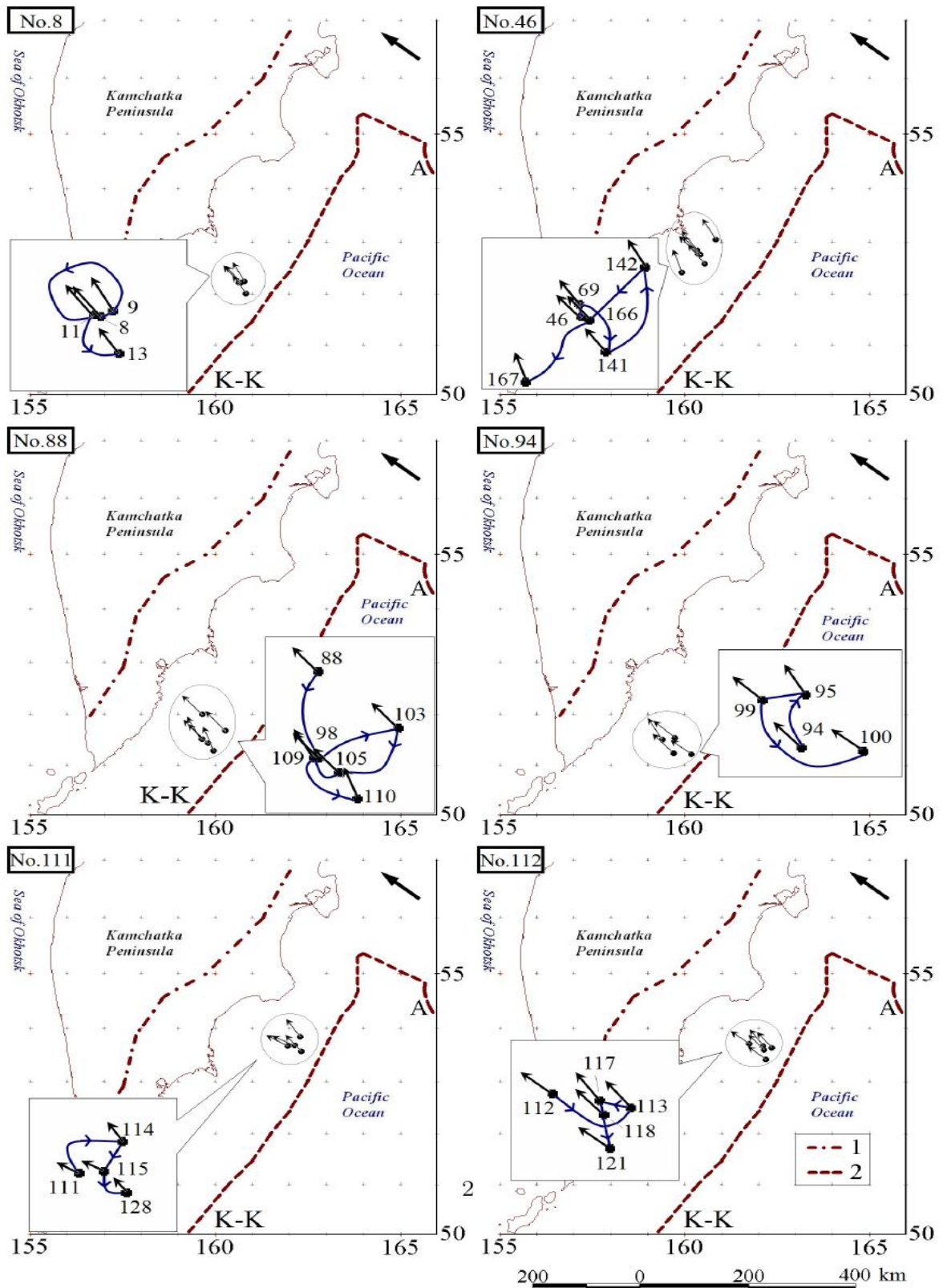


Рис. 2. Наиболее крупные кластеры в сдвиговом течении, полученные при использовании пространственного радиуса влияния, вычисленного по модели Миндлина. Обозначения: 1 – схематичное изображение крупнейших разломов, 2 – оси глубоководных желобов: Курило-Камчатского (К-К) и Алеутского (А); стрелками изображены проекции направлений дислокационных смещений; большой стрелкой – проекция главного направления течения в кластере; синими стрелками последовательно соединены связанные события

Вычисленные главные направления течений в кластерах изображены на рис. 1 и 2 большими стрелками и имеют северо-западную ориентацию, что согласуется с имеющимися геофизическими данными [20, 21]. Порядок скоростей относительных деформаций в наиболее протяженных кластерах в сдвиговом течении соответствует приливным 10^{-6} год⁻¹, а в менее протяженных увеличивается до 10^{-3} год⁻¹ [24].

Параметры сдвигового течения, приведенные в табл. 1 и 2, характеризуют сдвиговое течение в целом. Однако внутри кластеров блуждание реализуется неравномерно. Как видно на рис. 1, топтания в ограниченной области сменяются длинными пролетами, то есть реализуются эффекты ближних и дальних корреляций, связанные с изменением свойств среды и напряжений, которые и проявляются в нелокальных свойствах блужданий. Полученные результаты согласуются с результатами работы [9] для этого же региона, основанной на каталоге землетрясений Камчатского филиала Геофизической службы РАН за период с 1 января 1962 г. по 31 декабря 2002 г. без ограничений на координаты событий с энергией не меньше 9 класса.

Выводы

Нелокальные деформационные эффекты проявляются в возникновении связанных событий. Используемая в работе модель [8] позволила построить статистическую модель сдвигового течения в зоне субдукции Курило-Камчатской островной дуги на базе данных глобального каталога тензоров сейсмических моментов с ограничением на глубины в диапазоне 10–60 км и исследовать структуру и характеристики сдвигового течения в регионе.

Характеристика связанности выборки при использовании пространственного радиуса влияния события, вычисленного по модели Добровольского, равна 62%, а при использовании пространственного радиуса, вычисленного по модели Миндлина – 34%. Использование двух моделей для вычисления пространственного радиуса влияния события позволило проанализировать динамику характеристики связанности. Уменьшение области влияния события в пространстве привело к уменьшению количества связанных событий и увеличению количества независимых кластеров меньшей длины и протяженности во времени. В обоих случаях последовательности связанных событий образуют сложные цепи Маркова, что указывает на наличие нелокальных пространственно-временных эффектов в рассматриваемом деформационном процессе и согласуется с выводами работ [7, 9]. Внутри кластеров блуждание реализуется неравномерно: топтания в ограниченной области сменяются длинными пролетами, то есть реализуются эффекты ближних и дальних корреляций, что может быть объяснено изменением свойств среды и напряжений.

На основании построенной статистической модели определены характеристики сдвигового течения в регионе. Вычисленные главные направления течений в кластерах имеют северо-западную ориентацию, что согласуется с имеющимися геофизическими данными [20, 21]. Угловые распределения дислокационных смещений в каждом кластере имеют разброс относительно его главного северо-западного направления в пределах от 9° до 18°, что говорит о хорошей направленности сдвигового течения. Порядок значений скоростей относительных деформаций в наиболее протяженных кластерах в сдвиговом течении соответствует приливным, а в менее протяженных увеличивается до 10^{-3} год⁻¹, что также согласуется с результатами исследований [23]. Согласованность результатов исследования с имеющимися геофизическими данными говорит о том, что построенная статистическая модель адекватно описывает процесс и позволяет определить характеристики сдвигового течения в регионе. В перспективе результаты исследования могут быть использованы для разработки метода оценки сейсмической опасности.

Литература

1. Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фрактальной среде / А.А. Лукк, А.В. Дещеревский, А.Я. Сидорин, И.А. Сидорин. – М.: ОИФЗ РАН, 1996. – 210 с.

2. Голицын Г.С. Место закона Гутенберга – Рихтера среди других статистических законов природы // Проблемы динамики литосферы и сейсмичности. Вычислительная сейсмология. – 2001. – Вып. 32. – С. 138–161.

3. *Kagan Y.Y.* Observational evidence for earthquakes as nonlinear dynamic process // *Physica D.* – 1994. – Vol. 77. – P. 160–192.
4. *Metzler R., Klafter J.* The random walk's guide to anomalous diffusion: a fractional dynamics approach // *Physics Reports.* – 2000. – Vol. 339. – P. 1–77.
5. *Saichev A.I., Zaslavsky G.M.* Fractional kinetic equations: solutions and applications // *Chaos.* – 1997. – Vol. 7, № 4. – P. 753–764.
6. *Shebalin P.N.* Increased correlation range of seismicity before large events manifested by earthquake chains // *Tectonophysics.* – 2006. – Vol. 424. – P. 335–349.
7. *Shevtsov B.M., Sagitova R.N.* Statistical analysis of seismic processes on the basis of the diffusion approach // *Doklady Earth Sciences.* – 2009. – Vol. 426, № 1. – P. 642–644.
8. *Попова А.В., Шереметьева О.В., Сагитова Р.Н.* Анализ параметров выборки данных Global CMT catalog для построения статистической модели сейсмического процесса на примере зоны субдукции Курило-Камчатской островной дуги // *Вестник КРАУНЦ. Серия: Физико-математические науки.* – 2012. – Т. 5, № 2. – С. 23–32.
9. *Шевцов Б.М., Сагитова Р.Н.* Диффузионный подход в статистическом анализе сейсмичности Камчатки // *Вулканология и сейсмология.* – 2012. – № 2. – С. 56–66.
10. *Metzler R., Klafter J.* The random walk's guide to anomalous diffusion: a fractional dynamics approach // *Physics Reports.* – 2000. – Vol. 339. – P. 1–77.
11. *Saichev A.I., Zaslavsky G.M.* Fractional kinetic equations: solutions and applications // *Chaos.* – 1997. – Vol. 7, № 4. – P. 753–764.
12. *Шебакин П.Н.* Методология прогноза сильных землетрясений с периодом ожидания меньше года // *Алгоритмы прогноза землетрясений. Вычислительная сейсмология.* – 2006. – Вып. 37. – С. 5–180.
13. *Аки К., Ричардс П.* Количественная сейсмология. Теория и методы. Т.1. – М.: Мир, 1983. – 519 с.
14. *Костров Б.В.* Механика очага тектонического землетрясения. – М.: Наука, 1975. – 256 с.
15. *Ризниченко Ю.В.* О сеймотектоническом течении горных масс. Динамика земной коры. – М.: Наука, 1965. – С. 56–63.
16. *Kagan Y., Knopoff L.* Earthquake risk prediction as a stochastic process // *Phys. Earth Planet. Inter.* – 1977. – Vol. 14. – P. 97–108.
17. Global CMT Web Page. – URL: <http://www.global.org/>
18. *Добровольский И.Р.* Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. – М.: Физматлит, 2009. – 236 с.
19. Моделирование зон геоакустической эмиссии / А.С. Пережогин, Б.М. Шевцов, Р.Н. Сагитова, Г.М. Водинчар // *Математическое моделирование.* – 2007. – Т. 19, № 11. – С. 59–64.
20. Предварительный анализ перемещений станций GPS на Камчатке: скорости плит и геодезический предвестник землетрясения / Е.И. Гордеев, В.Е. Левин, В.Ф. Бахтияров, А.А. Гусев, В.М. Павлов, В.Н. Чебров, М. Касахара // *Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы.* – Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. – С. 82–94.
21. *Ломизе М.Г.* Вулканическое кольцо Тихого океана // *Соросовский образовательный журнал.* – 1999. – № 9. – С. 59–66.
22. *Ребецкий Ю.Л.* Тектонические напряжения и прочность природных горных массивов. – М.: ИКЦ Академкнига, 2007. – 406 с.
23. *Гусев А.А., Мельникова В.Н.* Связи между магнитудами – среднемировые и для Камчатки // *Вулканология и сейсмология.* – 1990. – № 6. – С. 55–62.
24. Отклик геоакустической эмиссии на активизацию деформационных процессов при подготовке землетрясений / Ю.В. Марापалец, Б.М. Шевцов, И.А. Ларионов, М.А. Мищенко, А.О. Щербина, А.А. Солодчук // *Тихоокеанская геология.* – 2012. – Т. 31, № 6. – С. 59–67.

МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОИСКА ДЕФЕКТОВ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

Предлагаемые в работе методы и алгоритмы локализации дефектов в разветвленных структурах электротехнических устройств основываются на разработанных автором структурно-аналитических моделях диагностирования. Построенная на основе полученной модели методика поиска дефектов в многокомпонентных электрических схемах реализуется с помощью последовательного логического анализа топологии функциональной схемы объекта диагностирования с последующим сравнением ее с топологией объекта, содержащего дефекты. Аналитические преобразования выполнены в матричной форме, удобной для обработки информации на компьютере. Построенные на основе разработанной методики алгоритмы позволяют в автоматическом режиме выделить неработоспособные компоненты диагностируемого устройства. Особенность построенной модели состоит в том, что методика идентификации, разработанная на ее основе, позволяет определять состояние системы с помощью контроля ограниченного количества каналов передачи тестового сигнала при произвольной сложности наблюдаемой системы. Разработаны машинные методы и алгоритмы формирования основных наблюдаемых признаков, базирующиеся на матрично-топологических представлениях модели системы. Рассмотрены также теоретические и методологические аспекты оценивания погрешности диагностирования.

Ключевые слова: локализация, идентификация, матрица, признак, модель, параметр, граф.

G.A. Pyukke (Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003) **Models, methods and algorithms of defect finding in multicomponent electric structures**

Methods and algorithms of defects localization in the branched structures of electrical devices described in the article are based on the structural – analytical diagnosis models developed by the author. The technique of defect finding in multicomponent electric circuits created on the basis of obtained model is realized with the help of the sequential logic analysis of circuit functional layout of the unit under test followed by its comparison with the object layout containing defects. Analytical transformations are executed in the matrix form convenient for information processing in computer. The algorithms created with the developed technique allow to mark out inoperative components of the diagnosed device in an automatic mode. Feature of the created model is that the identification technique developed on its basis allows to specify system status with the help of control of the limited quantity of transmission channels of a test signal at any complexity of the observed system. Machine methods and formation algorithms of the main observed features based on matrix-topological representations of the system's model are developed. Theoretical and methodological estimation aspects of diagnosis error are considered.

Key words: localization, identification, matrix, feature, model, parameter, column.

Введение

Анализ существующих методов поиска дефектов в аналоговых системах показал, что часть их относится к случаям, обеспечивающим поиск только одиночных дефектов. На практике же, как правило, имеют место кратные дефекты, и именно этот случай представляет особый интерес специалистов, работающих в области технической диагностики. В инженерной практике эта задача может быть успешно решена различными методами. Если появится возможность построить аналитическую адекватную модель и в рамках допустимых погрешностей выполнить соответствующие линеаризации, а также нейтрализовать или смоделировать и включить в модель стохастические воздействия, то возможна перспектива разработки эффективной методики диагностирования. При этом необходимо обеспечить однозначность взаимосвязи диагностических признаков с диагностируемыми параметрами в диагностической модели. Если не удастся построить регулярную диагностическую модель поиска множественных дефектов, то необходимо использовать стохастические модели или перейти к имитационному моделированию [1, 2].