

## **О закономерностях изменения параметров сейсмического процесса, отражающих флюидогеодинамические условия заключительной стадии подготовки очагов сильнейших Тихоокеанских землетрясений**

А.В. Соломатин

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия  
alf55@mail.ru*

В работе предлагается обобщение и флюидогеодинамическая интерпретация вариаций ряда базовых параметров сейсмического процесса на заключительной стадии подготовки сильнейших Тихоокеанских землетрясений. Важными отличиями предлагаемого подхода от апробированного в методе долгосрочного сейсмического прогноза (ДССП) академика С.А. Федотова представления об обобщенном сейсмическом цикле развития очагов сильнейших землетрясений являются, с одной стороны, представление о спектре величин исследуемых параметров, заданном в виде нечеткой Р-шкалы, а с другой - использование при исследовании их вариаций концепции определенности.

**Ключевые слова:** сейсмический прогноз, сейсмический мониторинг, спектр сейсмического процесса, геодинамика, гидродинамика, теория возможностей, концепция уверенности

## **On the Regularities of Changes in Seismic Process Parameters Reflecting Fluid and Geodynamic Conditions of the Final Stage of Preparation of the Sources of the Strongest Pacific Earthquakes**

Alexey V. Solomatin

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*

The paper proposes a generalisation and fluid-geodynamic interpretation of variations in a number of basic parameters of the seismic process at the final stage of preparation of the strongest Pacific earthquakes. The important differences of the proposed approach from the concept of the generalised seismic cycle of the strongest earthquake sources development approved in the method of long-term seismic forecast of the (LTSF) of academician S.A. Fedotov are, on the one hand, the representation of the spectrum of parameters under study given in the form of a fuzzy P-scale, and, on the other hand, the use of the concept of certainty in the study of their variations.

**Keywords:** seismic forecast, seismic monitoring, seismic process spectrum, geodynamics, hydrodynamics, possibility theory, certainty concept

### **Введение**

Сейсмичность в самом широком диапазоне масштабов является одним из проявлений процессов близкой к критическому состоянию сейсмоактивной геосреды. В ней отражаются как собственная активность геосреды, так и ее активные отклики на внешние воздействия. Все это определяет существенную сложность изучения развития очагов землетрясений, в том числе, наиболее опасных из них – сильнейших.

Преыдушие работы автора показали важность использования при описании свойств сейсмического процесса нечетких оценок – Р-параметров последнего и концепции определенности временных вариаций их спектров (D-представление таких параметров). Важность этого направления исследований основывается на предположении связи указанных спектров с динамическими и флюидными процессами в сейсмоактивной геосреде.

Отметим, что хотя в преыдуших работах основное внимание вполне закономерно уделялось крайним – экстремальным диапазонам таких спектров, несомненна важность исследования выраженности в сейсмическом процессе также неэкстремальных участков их диапазонов, в частности, на основе предлагаемого обобщения формулы Шеннона:  $-P^a \cdot \text{Lg}(P)$

или  $-(1 - P)^\alpha \cdot \text{Lg}(1 - P)$ , где параметр  $\alpha$  используется для корректировки формы фильтра, вырезающего определенный диапазон значений спектра.

Также в работе используется предположение о выраженности определенных энергетических уровней сейсмического процесса (Садовский, 2004). Как показывает опыт, один из этих уровней характеризуется значением в шкале обобщенного энергетического класса Федотова (Соломатин, 2022)  $K^F = 11$ .

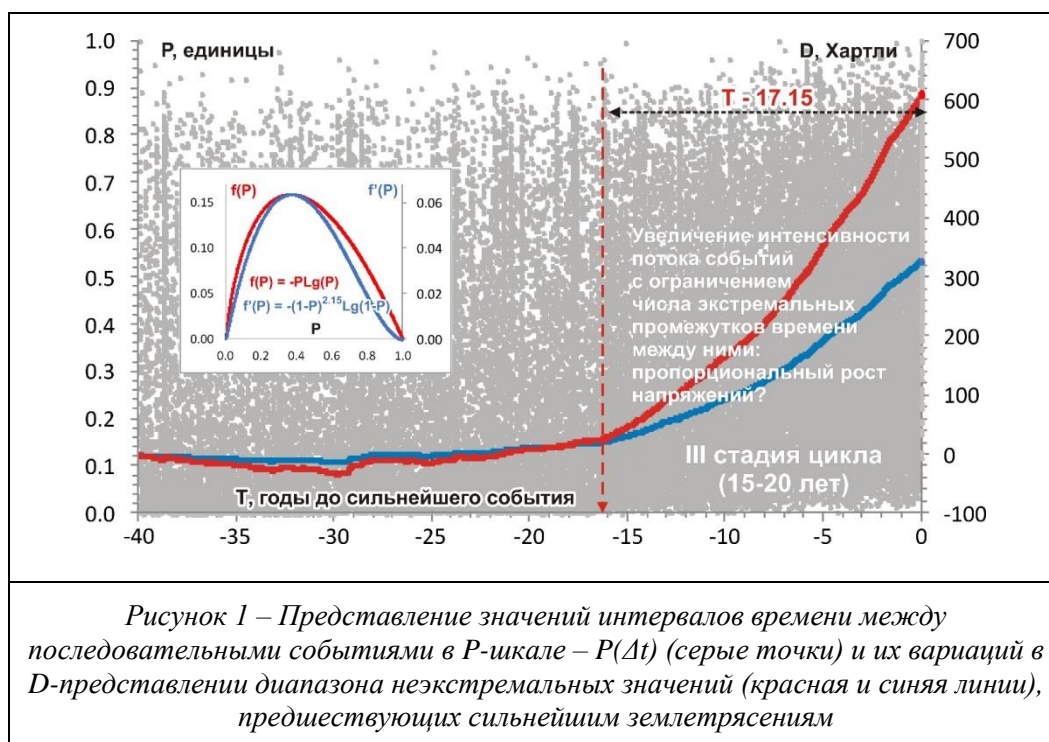
Для представления о полезности предлагаемого подхода результаты его применения сравниваются с обобщенным для всего Тихоокеанского региона временным ходом значений наклона графика повторяемости, характерным для подготовки сильнейших землетрясений Курило-Камчатской дуги и прилегающих регионов (Соломатин, 2021). Такое сравнение необходимо не только в теоретическом, но и в практическом планах, так как именно на основе последних была отмечена максимальная выраженность двухстадийного характера завершающей фазы подготовки сильнейших землетрясений (Соломатин, 2021), что исключительно важно для мониторинга и прогноза развития следующих таких землетрясений в Тихоокеанском регионе.

### Исходные данные наблюдений и их подготовка

В работе использовались данные каталога землетрясений ISC для района Тихого океана и Юго-Восточной Азии с  $M = 4$  и выше за период 1964–2024 гг. Всего было отобрано около 900 тысяч событий, в том числе 128 тысяч – в очагах 34-х сильнейших землетрясений, из исследованных ранее в (Соломатин, 2021). В качестве основной была выбрана магнитуда  $mb$ , известная для порядка 90% всех событий. Для приведения величин остальных событий к этой шкале  $mb$  было построено более 30-ти соотношений. Для получения однородности данных итоговые унифицированные оценки величин землетрясений были независимо пересчитаны согласно (Соломатин, 2021) в пределах каждого из очагов в шкалу  $K^F$ .

### Результаты построения D-представлений вариаций сейсмических параметров

На рисунках 1–3 приведены D-представления вариаций интервалов времени между последовательными событиями в очагах сильнейших землетрясений на завершающей стадии развития последних, соответственно: интенсивности сейсмического процесса в шкале  $P(\Delta t)$ ; его активности в условной P-шкале в виде  $P(K, \Delta t) = 1 - ((1 - P(K)) \cdot (1 - P(\Delta t)))^{0.3}$ ; а также его энергетического спектра в шкале  $P(K)$ .



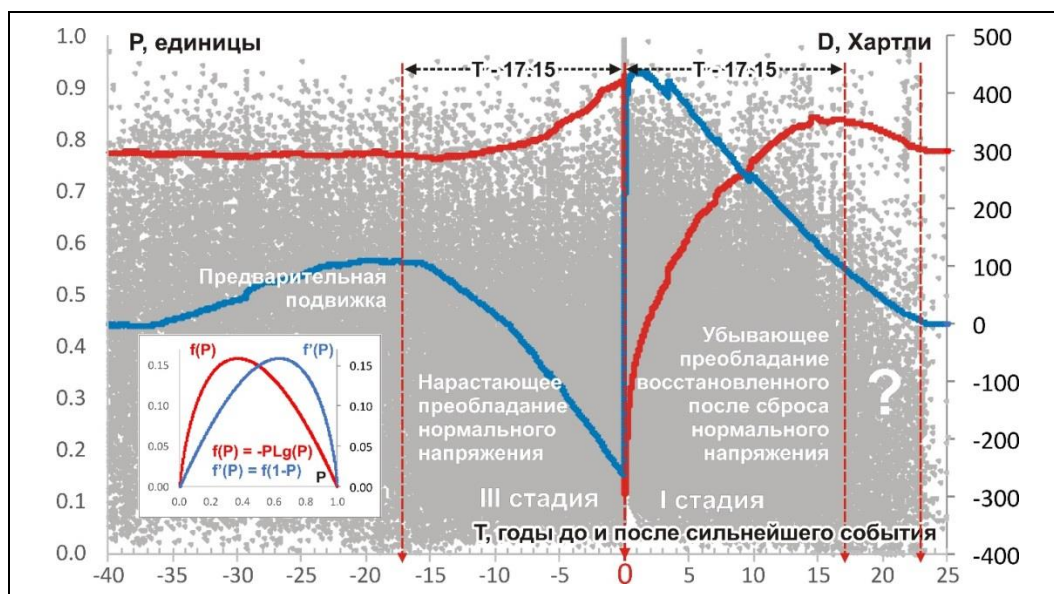


Рисунок 2 – Представление активности сейсмического процесса в условной P-шкале:  $P(K, \Delta t) = 1 - ((1 - P(K) \cdot (1 - P(\Delta t)))^{0.3})$  (серые точки) и их вариаций в D-представлении двух диапазонов неэкстремальных значений (красная и синяя линии), предшествующих сильнейшим землетрясениям

Из рис. 1 и 2 очевидно значимое увеличение интенсивности сейсмического процесса на III стадии сейсмического цикла, а также общее смещение энергетического уровня сейсмического процесса в сторону более сильных событий перед III – заключительной стадией сейсмического цикла с последующим обратным смещением в сторону более слабых.

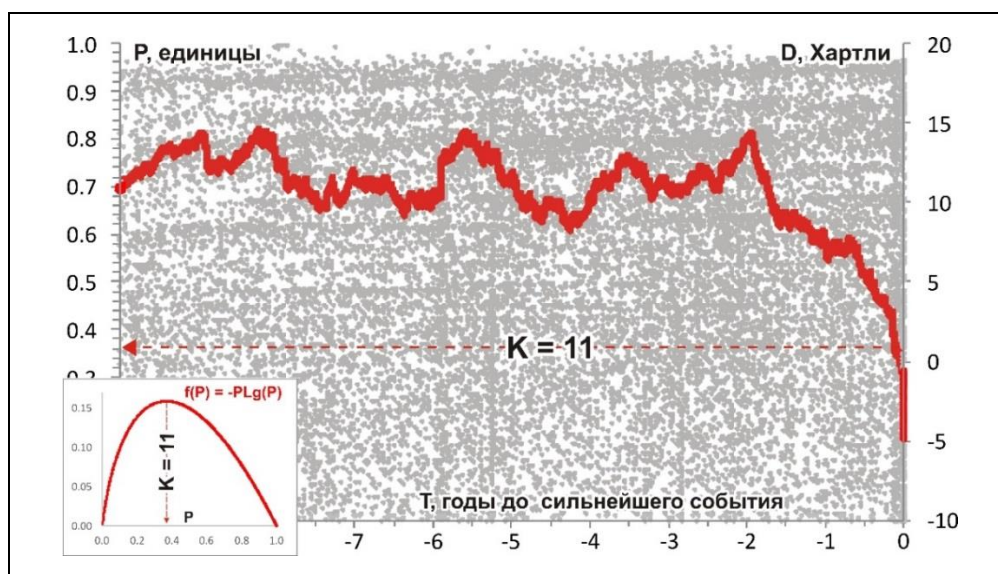


Рисунок 3 – Представление энергетического спектра сейсмического процесса в P-шкале (серые точки) и вариаций D-определенности диапазона неэкстремальных значений (красные точки), предшествующих сильнейшим землетрясениям

Оценки соответствующих значений спектра в P-шкале в виде серых точек приведены на рис. 1–3 для представления об эффективности используемых D-представлений вариаций последнего. При этом рис. 3 показывает максимальную из приведенных выше эффективность фильтра неэкстремальных значений  $-P \cdot Lg(P)$  в случае совмещения максимума указанной функции ( $P \approx 0.37$ ) с энергетическим уровнем  $K^F \approx 11$ . Это, возможно, указывает на особую роль таких событий в динамических (и флюидных?) процессах подготовки очагов сильнейших землетрясений.

Чтобы показать неслучайность предельно детальных (совсем не характерных для кумулятивных представлений, см. рис. 1 и 2) вариаций использованного D-представления энергетического спектра сейсмического процесса на заключительной стадии подготовки сильнейших Тихоокеанских землетрясений они были совмещены на рис. 4 с вариациями наклона графика повторяемости на заключительной стадии развития землетрясений Курило-Камчатской дуги и прилегающих регионов (Соломатин, 2021).

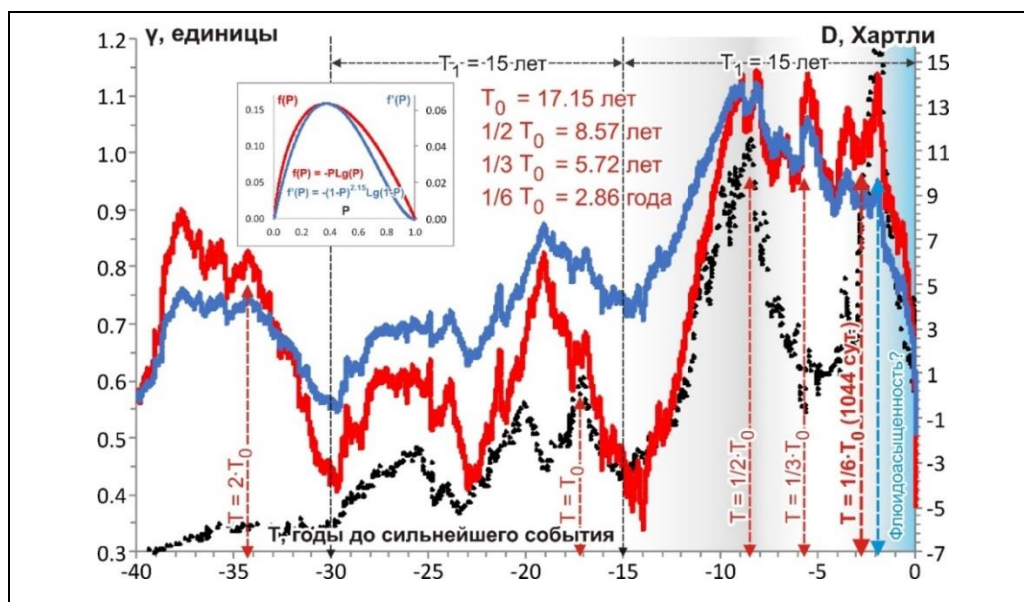


Рисунок 4 – Сопоставление D-представлений хода сейсмического процесса на заключительной стадии развития очагов сильнейших Тихоокеанских землетрясений на уровне  $K^F = 11$  (использованы фильтры:  $f(P) = -P \cdot \text{Lg}(P)$  – красные и  $f'(P) = -(1-P)^{2.15} \cdot \text{Lg}(1-P)$  – синие точки) с вариациями наклона графика повторяемости для этой стадии из (Соломатин, 2021) – черные точки

Отмечено существенное совпадение указанных графиков.

### Выводы

Хотя динамические условия подготовки сильнейших землетрясений вполне удовлетворительно характеризуются традиционными пространственными, временными и энергетическими характеристиками сейсмического процесса, наиболее полное их отражение, по-видимому, наблюдается во временном и энергетическом спектрах последнего.

Важным результатом представленной работы является подтверждение связи геодинамических и флюидных условий в сейсмоактивной среде и характера соответствующего им сейсмического процесса на новом уровне – уровне неэкстремальных значений параметров последнего. Кроме того, результаты настоящей работы, полученные в работе более надежным, чем оценки наклона графика повторяемости способом, указывают на выраженность периодов  $T = 15$  и  $17.15$  лет и гармоник последнего в сейсмическом процессе всего Тихоокеанского региона, что исключительно важно для построения сейсмических прогнозов.

### Список литературы

1. Садовский М.А. Геофизика и физика взрыва. / М.А. Садовский // М.: Наука. 2004. С. 307–384.
2. Соломатин А.В. Энергетический спектр сейсмического процесса в приложении к долгосрочному сейсмическому прогнозу и среднесрочно-краткосрочному уточнению сейсмической опасности / А.В. Соломатин // Вулканология и сейсмология. 2021. № 2. С. 67–79.
3. Соломатин А.В. Энергетические свойства сейсмического процесса и возможность введения обобщенного энергетического класса землетрясений / А.В. Соломатин // Вулканология и сейсмология. 2022. № 4. С. 80–92.