УДК 550.34

Некоторые характеристики кольцевых структур сейсмичности, формирующихся перед сильными и сильнейшими землетрясениями

© 2025 г. Ю.Ф. Копничев¹, И.Н. Соколова²

¹ИФЗ РАН, г. Москва, Россия; ²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия

Поступила в редакцию 26.03.2025 г.

Аннотация. Выделены неглубокие кольцевые структуры сейсмичности, сформировавшиеся перед 23 сильными и сильнейшими землетрясениями в различных зонах субдукции. Во многих случаях непосредственно перед такими событиями наблюдается существенный рост суммарной энергии землетрясений, формирующих кольцевые структуры. Приведены данные о длительности интервалов времени ΔT п, в которых имеет место такой эффект, для землетрясений с магнитудами Mw от 7.0 до 9.1 в разных зонах субдукции. Получена корреляционная зависимость параметров ΔT п от магнитуд сильных землетрясений, перед которыми формируются кольцевые структуры. Ранее была выделена крупная кольцевая структура в районе Южной Камчатки, что дало возможность прогнозировать здесь подготовку сильнейшего землетрясения. Использование корреляционной зависимости позволяет существенно уточнить ожидаемое время такого события. Полученные данные могут быть использованы в целях среднесрочного прогноза сильных и сильнейших землетрясений.

Ключевые слова: кольцевые структуры сейсмичности, прогноз сильных землетрясений, зоны субдукции.

Для цитирования: Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Некоторые характеристики кольцевых структур сейсмичности, формирующихся перед сильными и сильнейшими землетрясениями // Российский сейсмологический журнал. – 2025. – Т. 7, № 2. – С. 41–48. – DOI: https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.2.03. – EDN: KGDQDE

Введение

В работах [*Mogi*, 1988; *Копничев*, *Соколова*, 2015; 2021; 2023; 2024; *Корпісhev*, *Sokolova*, 2009; 2018; 2022] показано, что перед многими сильными землетрясениями в зонах субдукции формируются кольцевые структуры сейсмичности в диапазонах глубин 0–33 и 34–70 км (далее эти структуры будем называть соответственно неглубокой и глубокой). Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что образование кольцевых структур связано с миграцией глубинных флюидов [*Каракин*, *Лобковский*, 1983; *Gold*, *Soter*, 1984; *Летников*, 1992; *Корпісhev*, *Sokolova*, 2010].

Форма таких структур обычно близка к эллипсам, для указанных диапазонов глубин они характеризуются пороговыми величинами магнитуд, ограничивающих энергию землетрясений снизу (соответственно *M*п1 и *M*п2), а также длинами больших осей (*L*1 и *L*2). Ширина коль-

цевой структуры определяется как сумма наибольших отклонений эпицентров событий, формирующих структуру, от соответствующего эллипса, внутри и вне его. При этом ширина структуры не должна превышать 1/4 длины малой оси эллипса. Длительности формирования структур Тп, как правило, не превышают 50 лет, в среднем они составляют 25-30 лет. Отметим, что во многих случаях наблюдался существенный рост энергии событий, формирующих неглубокие кольцевые структуры, при приближении к моменту главного землетрясения [Колничев, Соколова, 2015; Kopnichev, Sokolova, 2018]. Это позволяет предполагать, что анализ зависимости магнитуд таких событий от времени может быть полезным в целях среднесрочного прогноза землетрясений. В настоящей работе рассматриваются эпизоды резкого роста магнитуд событий, формирующих неглубокие кольцевые структуры, перед сильными землетрясениями в различных зонах субдукции.

Данные и методика исследований

Рассматриваются характеристики неглубоких кольцевых структур сейсмичности (на глубинах до 33 км), сформировавшихся перед 23 сильными и сильнейшими землетрясениями (Mw=7.0-9.1, h=10-40 км) в зонах субдукции на западе и востоке Тихого океана, а также в районах Филиппин и Суматры (таблица). Методика выделения таких структур описана в работах [Kopnichev, Sokolova, 2018; 2022]. Здесь мы лишь заметим, что неглубокие структуры характеризуются пороговыми величинами магнитуд (Mп1, которые, как правило, на 2.5–3.5 единицы меньше магнитуд Mw главных землетрясений, перед которыми они формируются (таблица)).

Для анализа использовались сейсмические каталоги Геологической службы США (USGS) [Search Earthquake ..., 2024]. Рассматривались характеристики сейсмичности, начиная с 1973 г., когда значительно повысилась точность определения координат эпицентров и глубин очагов землетрясений благодаря установке большого количества станций по всему земному шару. Оценивалась также длительность интервалов времени ΔT п перед соответствующими сильными землетрясениями, в которых наблюдается резкий рост энергии событий в кольцевых структурах. Кроме величин Mп1 и $\Delta Tп$, рассматривались также параметры M_{max} , которые соответствуют наибольшим магнитудам в интервалах времени $\Delta Tп$.

Анализ данных и обсуждение

На рис. 1 представлены элементы сейсмичности, зарегистрированной перед сильным землетрясением 20 сентября 1999 г. в районе Тайваня (*Mw*=7.7, *h*=31 км). Здесь выделяется кольцевая структура (Мп1=4.4) с длиной большой оси L1~90 км, вытянутая в северо-северо-западном направлении. Отметим, что эпицентр землетрясения 20 сентября 1999 г. попадает на указанную структуру. Начиная с 1986 г. наблюдается существенное повышение уровня сейсмичности в области кольцевой структуры, при этом $M_{\rm max}$ =5.7. Интересно, что до 1986 г. все зарегистрированные в этой области события имели магнитуды менее 4.4. Самое сильное событие произошло в 1998 г., за год до главного землетрясения 20 сентября 1999 г., при этом величина ΔT п составляет около 13 лет (рис. 2).

Дата, дд.мм.гггг	Mw	h, км	Район	ΔT Π, лет	M _{max}	Мп1
09.10.1995	8.0	26	Мексика	10	5.8	4.8
12.11.1996	7.7	17	Перу	13	6.0	4.8
05.12.1997	7.8	37	Камчатка	10	5.5	5.3
20.09.1999	7.7	31	Тайвань	13	5.7	4.4
01.01.2001	7.5	33	Филиппины	14	7.1	4.7
23.06.2001	8.4	33	Перу	13	6.0	5.0
05.03.2002	7.5	31	Филиппины	10	5.4	4.5
22.01.2003	7.6	24	Мексика	16	6.3	4.8
26.12.2004	9.1	30	Суматра	9	7.4	5.5
15.11.2006	8.3	10	Курилы	15	5.4	5.0
13.01.2007	8.1	10	Курилы	14	6.7	5.0
14.11.2007	7.7	40	Чили	12	5.9	4.8
27.02.2010	8.8	23	Чили	9	5.6	5.0
11.03.2011	9.0	29	Япония	8	7.0	5.9
11.04.2012	8.6	20	Суматра	14	7.2	5.5
31.08.2012	7.6	28	Филиппины	16	4.8	4.4
01.04.2014	8.2	25	Чили	11	6.5	4.9
16.09.2015	8.3	22	Чили	14	5.6	4.8
15.04.2016	7.0	10	Япония	14	5.4	4.1
20.12.2018	7.3	17	Камчатка	15	6.7	5.0
22.07.2020	7.8	28	Аляска	13	5.6	5.0
29.07.2021	8.2	35	Аляска	14	7.5	5.0
19.05.2023	7.7	18	Острова Лоялти	10	5.4	4.6

Таблица. Характеристики кольцевых структур в различных зонах субдукции



Рис. 1. Элементы неглубокой сейсмичности перед сильным землетрясением 20 сентября 1999 г. (*Mw*=7.7) в районе Тайваня.

Магнитуды событий: 1 – 4.4–4.9, 2 – 5.0–5.9,



Рис. 2. Зависимость магнитуд событий в области кольцевой структуры на рис. 1 от времени

На рис. 3 и 4 представлены данные об элементах сейсмичности в районе Северо-Восточной Японии, предшествующей Великому землетрясению Тохоку 11.03.2011 г. ($Mw=9.0, h=29 \ \kappa m$). Видно, что перед этим событием сформировалась неглубокая кольцевая структура с достаточно высокой пороговой величиной магнитуды: ($Mn1=5.9, L1\sim140 \ \kappa m$), ориентированная в северо-восточном направлении. Время образования структуры составляет 30 лет. Наибольшая магнитуда $M_{\rm max}$ событий в области этой структуры была равна 7.0 (31.10.2003 г. и 19.07.2008 г.). Анализ данных показывает, что суммарная энергия событий в области неглубокой кольцевой структуры резко выросла в 2003—2011 гг. перед землетрясением 2011 г. (рис. 4). Величина ΔT п составляет восемь лет.



Рис. 3. Элементы неглубокой сейсмичности перед Великим землетрясением Тохоку 11 марта 2011 г. (*Мw*=9.0) в районе Северо-Восточной Японии.

Магнитуды событий: 1 – 5.9, 2 – 6.0–6.9, 3 – 7.0–7.9, 4 – 9.0. 5 – кольцевая структура



Рис. 4. Зависимость магнитуд событий в области кольцевой структуры на рис. 3 от времени

На рис. 5 представлены некоторые элементы сейсмичности, проявившейся перед землетрясением 22 января 2003 г. в районе Мексики (Mw=7.6, $h=24 \ \kappa m$). Здесь, начиная с 1974 г., сформировалась довольно крупная кольцевая структура ($M\pi 1=4.9$, $L\sim150 \ \kappa m$), вытянутая в субширотном направлении. Резкий рост энергии событий в области структуры начинается с 1987 г. ($\Delta T\pi=16$ лет, $M_{max}=6.3$, рис. 6). В данном случае, как и на рис. 1 и 3, эпицентр главного события попадает на кольцо сейсмичности (с учётом его ширины, определённой выше).



Рис. 5. Элементы неглубокой сейсмичности перед сильным землетрясением 22 января 2003 г. (*Мw*=7.6) в районе Мексики.

Магнитуды событий: 1 – 4.9, 2 – 5.0–5.9, 3 – 6.0–6.9, 4 – 7.6. 5 – кольцевая структура



Рис. 6. Зависимость магнитуд событий в области кольцевой структуры на рис. 5 от времени

Была рассмотрена зависимость параметра ΔT п от магнитуды главных землетрясений. Из рис. 7 следует, что наблюдается заметное падение величин ΔT п с увеличением магнитуды. Корреляционная зависимость описывается формулой:



Рис. 7. Зависимость величин ∆*T*п от магнитуд сильных землетрясений

Для оценки значимости полученного результата воспользуемся *t*-критерием Стьюдента [Student, 1908]. Критическое значение *t*-критерия для 95% доверительной вероятности $t_{y_{p}}$ в нашем случае равно 2.1, в то время как наблюдённый параметр $t_{\rm H}$ равен 2.45. Таким образом, согласно *t*-критерию Стьюдента, благодаря достаточно большому количеству данных, несмотря на относительно большую дисперсию, коэффициент корреляции является значимым для доверительной вероятности 0.95. Из рис. 7 видно, что для Mw~7 величина $\Delta T п$ в среднем близка к 15, а для *Мw*~9 – к десяти годам.

Из таблицы следует, что величины Мw-М_{тах} для разных землетрясений варьируются в диапазоне 0.4-3.2, в среднем этот параметр равен 1.9±0.8. Отметим, что в работе [Соболев, 1993] приведена подборка данных о кольцевых структурах, сформировавшихся перед сильными внутриконтинентальными землетрясениями в районе Китая. Их анализ показывает, что, в отличие от приведённых выше данных, в некоторых случаях величины *М*-*M*_{max} были отрицательными, т.е. наибольшие магнитуды событий в областях колец сейсмичности были даже выше, чем магнитуды готовившихся сильных землетрясений. Исходя из этого, мы полагаем, что для целей среднесрочного прогноза сильных землетрясений использование параметров *М*п1 и *М*_{max}, величины которых значительно ниже магнитуд главных событий, может иметь существенное значение.

Рассмотрим теперь, какие величины ΔT п могут соответствовать сильному землетрясению, которое, возможно, готовится в районе Южной Камчатки [Копничев, Соколова, 2024]. На рис. 8 представлена неглубокая кольцевая



Рис. 8. Элементы неглуюокой сейсмичности в районе Южной Камчатки.

Магнитуды событий: 1 — 5.3—5.9, 2 — 6.0—6.9, 3 — 7.0—7.9. 4 — кольцевая структура. Не залитые значки — события до 17 августа 2024 г., залитые — землетрясения за период 17 августа 2024 г. — 1 января 2025 г.



Рис. 9. Зависимость магнитуд событий в области кольцевой структуры на рис. 8 от времени

структура, сформировавшаяся здесь к концу 2024 г. (Mп1=5.3, $L\sim140 \ \kappa m$). Структура вытянута в направлении на северо-северо-восток, наибольшая магнитуда (Mw=7.0) соответствует землетрясению 17 августа 2024 года. Из рис. 9 следует, что наблюдается резкое увеличение суммарной сейсмической энергии в 2016–2024 гг. (текущая величина ΔT п равна восьми годам).

В работе [*Kopnichev*, *Sokolova*, 2018] получены корреляционные зависимости параметров *М*п1 и *М*п2 от *Мw* для запада Тихого океана. Используя эти зависимости, по установленным для кольцевых структур величинам *М*п1 и *М*п2 можно прогнозировать магнитуду Mw ожидаемого сильного землетрясения. По этой методике оценена величина Mw для кольцевой структуры, показанной на рис. 8: Mw=8.6±0.2 [Копничев, Соколова, 2024]. Из рис. 7 следует, что указанному диапазону вариаций Mw соответствуют величины ΔTn ~11–12 лет. Таким образом, имеющиеся данные свидетельствуют о возможности реализации сильнейшего землетрясения в районе Южной Камчатки в 2027–2028 гг.

О перспективности использования данных о кольцевых структурах для прогноза мест и магнитуд сильных землетрясений говорят результаты, полученные в работах [Копничев, Соколова, 2021; Kopnichev, Sokolova, 2022], в которых полностью оправдался такой прогноз для Симеоновского землетрясения 2020 г. (*Мw*=7.8) и Чигникского землетрясения 2021 г. (*Мw*=8.2) в районе юго-западной Аляски. Также следует отметить, что для наиболее эффективного использования характеристик кольцевых структур в целях прогноза мест и магнитуд сильных землетрясений рекомендуется сочетание их с данными о неоднородностях поля поглощения короткопериодных поперечных волн [Kopnichev et al., 2009]. Имеющиеся данные показывают, что аномалии повышенного поглощения в литосфере и формирование кольцевых структур сейсмичности в конечном счёте связаны с миграцией глубинных флюидов [Kopnichev, Sokolova, 2010]. В то же время глубинные флюиды в литосфере зон субдукции выделяются в результате дегидратации материала погружающихся океанических плит [Yamasaki, Seno, 2003].

Заключение

Полученные данные ещё раз показывают, что в зонах субдукции перед сильными и сильнейшими землетрясениями часто формируются неглубокие кольцевые структуры сейсмичности. При этом перед многими такими событиями наблюдается существенный рост суммарной энергии землетрясений, формирующих кольцевые структуры. В работе приведены данные о длительности интервалов времени $\Delta T \Pi$, в которых имеет место такой эффект, для 23 землетрясений с магнитудами Mw от 7.0 до 9.1 в разных зонах субдукции. Получена корреляционная зависимость параметров ΔT п от магнитуд сильных землетрясений, перед которыми формируются кольцевые структуры. Ранее была выделена крупная кольцевая структура в районе Южной Камчатки, что дало возможность прогнозировать здесь подготовку сильнейшего землетрясения.

Новые данные позволили заметно уточнить ожидаемое время такого события. Полученные данные могут быть использованы в целях среднесрочного прогноза сильных и сильнейших землетрясений в различных зонах субдукции.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках темы НИР «Динамика и внутреннее строение Земли и планет земной группы» ИФЗ РАН, государственное задание № FMWU-2025-0030 и государственное задание ФИЦ ЕГС РАН № 075-00604-25).

Литература

Каракин А.В., Лобковский Л.И. Гидродинамика и структура двухфазной астеносферы // Доклады Академии наук СССР. – 1983. – Т. 268, № 2. – С. 324–329.

Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевые структуры сейсмичности в районе Северного Чили и успешный прогноз места и магнитуды землетрясения Икике 01.04.2014 г. (*Мw*=8.2) // Вестник НЯЦ РК. – 2015. – Вып. 4. – С. 153–159.

Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевые структуры сейсмичности в районе Камчатки: возможная подготовка сильного землетрясения // Российский сейсмологический журнал. – 2024. – Т. 6, № 2. – С. 42–51. – DOI: 10.35540/2686-7907.2024.2.03. – EDN: NVOLSJ

Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевые структуры сейсмичности, сформировавшиеся в районе Аляски: оправдавшийся прогноз места и магнитуды Симеоновского землетрясения 22 июля 2020 г. (*Mw*=7.8) // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 3. – С. 50–60. – DOI: 10.35540/2686-7907.2021.3.03. – EDN: QUJNGX

Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Характеристики кольцевой сейсмичности на глубинах до 110 км перед сильными и сильнейшими землетрясениями в тихоокеанских зонах субдукции // Российский сейсмологический журнал. – 2023. – Т. 5, № 4. – С. 41–51. – DOI: 10.35540/2686-7907.2023.4.03. – EDN: HDHWNE

Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. – Новосибирск: Наука, 1992. – 230 с.

Моги К. Предсказание землетрясений. – М.: Мир, 1988. – 382 с.

Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 1993. – 313 с. – EDN: TGSIGH

Gold T., Soter S. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes // Pure and Applied Geophysics. – 1984. – V. 122. – P. 492–530. – DOI: 10.1007/BF00874614

Kopnichev Y.F., Sokolova I.N. Characteristics of ring seismicity in different depth ranges before large and great earthquakes in the Sumatra region // Doklady Earth Sciences. – 2009. – V. 429, N 1. – P. 1385–1388. – DOI: 10.1134/S1028334X09080327. – EDN: MWZUMD

Kopnichev Y.F., Sokolova I.N. On the correlation between seismicity characteristics and S-wave attenuation in the ring structures that appear before large earthquakes // Journal of Volcanology and Seismology. – 2010. – V. 4, N 6. – P. 396–411. – DOI: 10.1134/S0742046310060047. – EDN: OHMPQF

Kopnichev Y.F., Sokolova I.N. Ring-shaped seismicity structures forming before large earthquakes and the great earthquakes in the Western and Eastern Pacific // Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics. – 2018. – V. 54, N 8. – P. 848–858. – DOI: 10.1134/S0001433818080054. – EDN: DQTVRS

Kopnichev Y.F., Sokolova I.N. Ring-shaped seismicity structures in the region of Southwestern Alaska: A Justified forecast of the location and magnitude of the Chignik earthquake of July 29, 2021 (*Mw*=8.2) // Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics. – 2022. – V. 58, N 7. – P. 713–723. – DOI: 10.1134/S0001433822070052. – EDN: YGMMZI

Kopnichev Yu.F., *Gordienko D.D.*, *Sokolova I.N.* Spacetime variations of the shear wave attenuation field in the upper mantle of seismic and low seismicity areas // Journal of Volcanology and Seismology. – 2009. – V. 3, N 1. – P. 44–58. – DOI: 10.1134/S0742046309010059. – EDN: LLQHEP

Search Earthquake Catalog. Earthquakes // USGS [Site]. – URL: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/ (дата обращения 01.12.2024).

Student. The probable error of a mean // Biometrika. -1908. - V. 6, N 1. - P. 1-25.

Yamasaki T., Seno T. Double seismic zone and dehydration embrittlement of the subducting slab // Journal of Geophysical Research. – 2003. – V. 108, N B4. – DOI: 10/1029/2002JB001918

Сведения об авторах

Копничев Юрий Федорович, д-р физ.-мат. наук, профессор, гл. науч. сотр. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), г. Москва, Россия. E-mail: yufk777@mail.ru

Соколова Инна Николаевна, д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр., зав. лаб. Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), г. Обнинск, Россия. E-mail: SokolovaIN@gsras.ru

47

Some characteristics of ring-shaped seismicity structures forming prior to large and great earthquakes

© 2025 Yu.F. Kopnichev¹, I.N. Sokolova²

¹IPE RAS, Moscow, Russia; ²GS RAS, Obninsk, Russia

Received March, 26, 2025

Abstract Shallow ring-shaped seismicity structures prior to 23 large and great earthquakes were picked out in different subduction zones. In many cases essential growth of the total energy of earthquakes, forming ring-shaped structures was observed directly prior to such events. The data on time duration intervals Δ Tp, in which such effect takes place, were adduced for earthquakes with magnitudes from 7.0 to 9.1 in different subduction zones. We obtained a correlation dependence of Δ Tp on magnitudes of large earthquakes, before which ring-shaped structures are forming. Big ring-shaped structure was picked out in the region of South Kamchatka. That gave a possibility to predict a preparation of great earthquake here. Using of the correlation dependence allows us to specify noticably expected time of such event. The data obtained can be used for a purpose of mid-term prognosis of large and great earthquakes.

Keywords Ring-shaped seismicity structures, large earthquakes forecast, subduction zones.

For citation Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2025). [Some characteristics of ring-shaped seismicity structures forming prior to large and great earthquakes]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 7(2), 41-48. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.2.03. EDN: KGDQDE

References

Gold, T., & Soter, S. (1984). Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes. *Pure and Applied Geophysics*, *122*, 492-530. DOI: *10.1007/ BF00874614*

Karakin, A.V., & Lobkovsky, L.I. (1983). [Hydrodynamics and structure of the two-phase asthenosphere]. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Transactions (Doklady) of the USSR Academy of Sciences. Earth Science Sections], *268*(2), 324-329. (In Russ.).

Kopnichev, Y.F., & Sokolova, I.N. (2009). Characteristics of ring seismicity in different depth ranges before large and great earthquakes in the Sumatra region. *Doklady Earth Sciences*, 429(1), 1385-1388. DOI: 10.1134/S1028334X09080327. EDN: MWZUMD

Kopnichev, Y.F., & Sokolova, I.N. (2010). On the correlation between seismicity characteristics and S-wave attenuation in the ring structures that appear before large earthquakes. *Journal of Volcanology and Seismology*, *4*(6), 396-411. DOI: *10.1134/S0742046310060047*. EDN: OHMPQF

Kopnichev, Y.F., & Sokolova, I.N. (2018). Ring-shaped seismicity structures forming before large earthquakes and the great earthquakes in the Western and Eastern Pacific. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, *54*(8), 848-858. DOI: *10.1134/S0001433818080054*. EDN: DQTVRS Kopnichev, Y.F., & Sokolova, I.N. (2022). Ring-shaped seismicity structures in the region of Southwestern Alaska: A Justified forecast of the location and magnitude of the Chignik earthquake of July 29, 2021 (Mw=8.2). *Izvestiya. Atmospheric and Ocean Physics*, *58*(7), 713-723. DOI: *10.1134/S0001433822070052*. EDN: YGMMZI

Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2015). [Ringshaped seismicity structures in the region of Northern Chile and successful prediction of place and magnitude of the Iquique earthquake of 01.04.2014 (Mw=8.2)]. *Vestnik NIaTs RK* [NNC RK Bulletin], *4*, 153-159. (In Russ.).

Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2021). [Ringshaped seismicity structures, being formed in the Alaska region: Justified prediction of the place and magnitude of the Simeonof earthquake of July 22, 2020 (Mw 7.8)]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], *3*(3), 50-60. (In Russ.). DOI: *10.35540/2686-7907.2021.3.03*. EDN: QUJNGX

Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2023). [Characteristics of ring-shaped seismicity at depths up to 110 km prior to large and great earthquakes in subduction zones of the Pacific]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 5(4), 41-51. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2023.4.03. EDN: HDHWNE

Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2024). [Ring-shaped seismicity structures in the region of Kamchatka:

possible preparation for great earthquake]. *Rossiiskii* seismologicheskii zhurnal [Russian Journal of Seismology], 6(2), 42-51. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2024.2.03. EDN: NVOLSJ

Kopnichev, Yu.F., Gordienko, D.D., & Sokolova, I.N. (2009). Space-time variations of the shear wave attenuation field in the upper mantle of seismic and low seismicity areas. *Journal of Volcanology and Seismology*, *3*(1), 44-58. DOI: *10.1134/S0742046309010059*. EDN: LLQHEP

Letnikov, F.A. (1992). *Sinergetika geologicheskikh sistem* [Synergetics of geological systems]. Novosibirsk, Russia: Nauka Publ., 230 p. (In Russ.).

Mogi, K. (1985). *Earthquake Prediction*. Tokyo, Japan: Academic Publishing, 355 p.

Sobolev, G.A. (1993). *Osnovy prognoza zemletriasenii* [Fundamentals of Earthquake Prediction]. Moscow, Pussia: MAIK Nauka/Interperiodics Publ., 313 p. (In Russ.). EDN: TGSIGH

Student. (1908). The probable error of a mean. *Biometrika*, 6(1), 1-25.

USGS. Search Earthquake Catalog. Earthquakes. (2024). U.S. Geological Survey National Earthquake Information Center, Federal Center Denver, Colorado. Retrieved from *https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/*

Yamasaki, T., & Seno, T. (2003). Double seismic zone and dehydration embrittlement of the subducting slab. *Journal of Geophysical Research*, *108*, B4. DOI: *10/1029/2002JB001918*

Information about authors

Kopnichev Yuri Fedorovich, Dr., Professor, Chief Researcher of the Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences (IPE RAS), Moscow, Russia. E-mail: yufk777@mail.ru

Sokolova Inna Nikolayevna, Dr., Chief Researcher, Head of the Laboratory of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (GS RAS), Obninsk, Russia. E-mail: SokolovaIN@gsras.ru