

ГЕОЛОГИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК: 550.34:551.24(571.6)

ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТИ КАТАЛОГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ФИЦ ЕГС РАН ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ КОНТИНЕНТ-ОКЕАН ЗА 2003–2021 ГГ.

М.В. Овсиенко

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679016,
e-mail: mahaonn2008@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-1380-9497>

Выполнена оценка представительности сейсмических каталогов в переходной зоне континент-океан за период с 2003 по 2021 год. Информация для анализа получена из обобщенных данных, предоставленных ФИЦ ЕГС РАН в г. Обнинске. В ходе исследования была составлена карта минимальной представительной магнитуды, характерной для Дальневосточного региона. Она подчеркивает, что значительная часть территории Дальнего Востока России имеет нижний порог представительности землетрясений с магнитудой 1.8–2.0. Резкое увеличение представительной магнитуды маркирует границу наблюдений сейсмических зон: Сахалинской сети на границе с Китаем, Магаданской и Камчатской сетей на полуострове Чукотка. При сравнении 2003–2015 гг. и 2003–2021 гг. общий характер распределения представительности магнитуд сохраняется. Изменения в минимальном пороге представительной магнитуды наблюдаются там, где были размещены новые сейсмостанции в сети сейсмического мониторинга с редким распределением станций. На территории юга Дальнего Востока отмечается снижение порога представительной магнитуды на севере острова Сахалин и Курильских островах. Проведена оценка точности определения глубины гипоцентров землетрясений в верхнекоровом слое (глубина от 0 до 20 км). В среднем точность в Приамурье составляет около ± 1.8 км, а в Охотоморском регионе – около ± 2.5 км. В то же время точность определения глубины гипоцентров в нижнекоровом слое (глубина от 21 до 50 км) оценивается примерно в ± 3.8 км для Среднего Приамурья и около ± 7.7 км для Охотоморского региона. Обнаружено существенное снижение погрешности определения глубин гипоцентров землетрясений в сравнении с 2003–2015 гг.

Ключевые слова: представительность, землетрясения, магнитуда, гипоцентр.

Образец цитирования: Овсиенко М.В. Эволюция представительности каталогов землетрясений ФИЦ ЕГС РАН переходной зоны континент-океан за 2003–2021 гг. // Региональные проблемы. 2023. Т. 26, № 4. С. 40–51. DOI: 10.31433/2618-9593-2023-26-4-40-51.

Введение

Результаты наблюдений за землетрясениями, зарегистрированные в сейсмических каталогах, являются важными для проведения сейсмического районирования территорий [6, 8, 45, 47, 54], оценки сейсмической опасности [12, 44, 50, 52], изучения взаимосвязи между сейсмичностью, геодинамическим состоянием литосферы [1, 2, 47, 57] и геологическим строением земной коры [3, 5, 10, 11, 32]. При этом ключевое значение имеют точность и однородность сейсмических данных,

представленных в этих каталогах [34, 50]. Чувствительность и разрешающая способность сетей сейсмических станций изменяются в зависимости от плотности станций и их удаленности от сейсмических событий. Чувствительность определяется энергетическим классом (магнитудой) землетрясений, которые могут быть зафиксированы без пропусков в определенной области пространства. Разрешающая способность связана с погрешностью в определении координат, времени, магнитуды и гипоцентра землетрясений, отражая возмож-

ность точного разграничения между соседними сейсмическими событиями.

При проведении региональных исследований и статистических обобщений сейсмологических данных акцент не делается на точном определении географических координат и времени сейсмических событий, эти значения второстепенные, поскольку данные агрегируются в широких временных и пространственных рамках. Например, при создании моделей для распределения гипоцентров землетрясений в сейсмофокальных зонах, расположенных на границах литосферных плит, в анализ включаются землетрясения, которые происходили в полосе шириной от 100 км [51] до 800–1000 км [6], и данные за период нескольких десятков лет. Такие исследования предоставляют убедительные доказательства о субдукции океанических плит под континентами [2, 6, 48]. При анализе тектонической природы землетрясений производится сопоставление распределения эпицентров землетрясений с разломами, и зоны с самой высокой концентрацией эпицентров интерпретируются как границы литосферных плит [33, 53]. Этот же принцип лежит в основе корреляции местных зон повышенной сейсмичности с разломами более высокого порядка [6, 9].

С увеличением плотности и улучшением разрешающей способности сейсмических станций возникают новые задачи и возможности для исследований. Это включает моделирование региональных деформационных сейсмогенных волн [7, 37, 56], оценку геодинамической активности [2, 47, 55] и сейсмического режима [1, 35, 50], анализ взаимосвязи сейсмичности с геологическим строением земной коры и геофизическими полями [5, 32, 47], а также плотностные неоднородности [39] и реологией [11, 35, 38, 41] тектонических сред. Все эти задачи требуют более глубокого анализа сейсмической информации, включая оценку представительной магнитуды землетрясений и точности в определении глубины их гипоцентров. Последние оценки представительности магнитуды землетрясений в южных районах Дальнего Востока были проведены в 2008 [34] и в 2015 гг. [4]. За последние 15 лет количество сейсмических станций и их разрешающая способность существенно увеличились.

Цель данной статьи – проведение анализа представительности сейсмических данных на территории Дальнего Востока России за период с 2003 по 2021 гг. Результаты этого анализа будут использованы для оценки возможности применения сейсмических каталогов Федерального ис-

следовательского центра Единой геофизической службы (ФИЦ ЕГС РАН) в исследованиях, связанных с изучением взаимосвязи между сейсмичностью и глубинным геологическим строением региона в трехмерной постановке. Конкретные задачи данной работы включают в себя оценку представительных магнитуд землетрясений и точности определения глубины их гипоцентров.

Использованные данные и методы их обработки

Борис Валентинович Левин и его коллеги [34] провели анализ представительности сейсмических данных в южных районах Дальневосточного региона в период с 1995 по 2008 гг. (рис. 1). Их исследование показало, что представительными считаются землетрясения с M 3.3–3.7. Оптимальная минимально возможная магнитуда наблюдалась в период с 1990 по 1992 гг., когда считались представительными землетрясения с M 2.6–3.2.

Для оценки представительности сейсмических каталогов используется подход, основанный на степенной форме распределения энергии землетрясений. График повторяемости Гуттенберга-Рихтера имеет линейную форму в логарифмических координатах. Определение представительного класса сводится к соответствию наблюдаемого распределения энергии землетрясений степенному распределению. Эта методика была впервые сформулирована и решена В.Ф. Писаренко и М.А. Садовским [42, 43], В.Б. Смирнов разработал программу для оценки представительности каталогов землетрясений [49, 50].

В данной статье рассматривается оценка представительности сейсмических каталогов на территории Дальнего Востока России, включая Байкало-Охотский и Танлу сейсмические пояса, а также Сахалинскую и Курило-Камчатскую сейсмические зоны. Для этой оценки использовалась программа В.Б. Смирнова [49]. Оценка представительности проводилась на основе гистограмм распределения землетрясений по магнитуде внутри подвижного пространственного окна размером 100x100 км, в котором количество землетрясений превышало 4. При расчетах использовалось 50% перекрытие окон. Задача состояла в определении минимальной магнитуды, при которой график повторяемости землетрясений внутри ячейки оставался линейным с заданной точностью.

Второй задачей исследования была оценка погрешности определения глубины гипоцентров землетрясений на основе сводных каталогов ФИЦ ЕГС РАН. Для этой цели были вычислены среднеквадратические годовые погрешности опре-

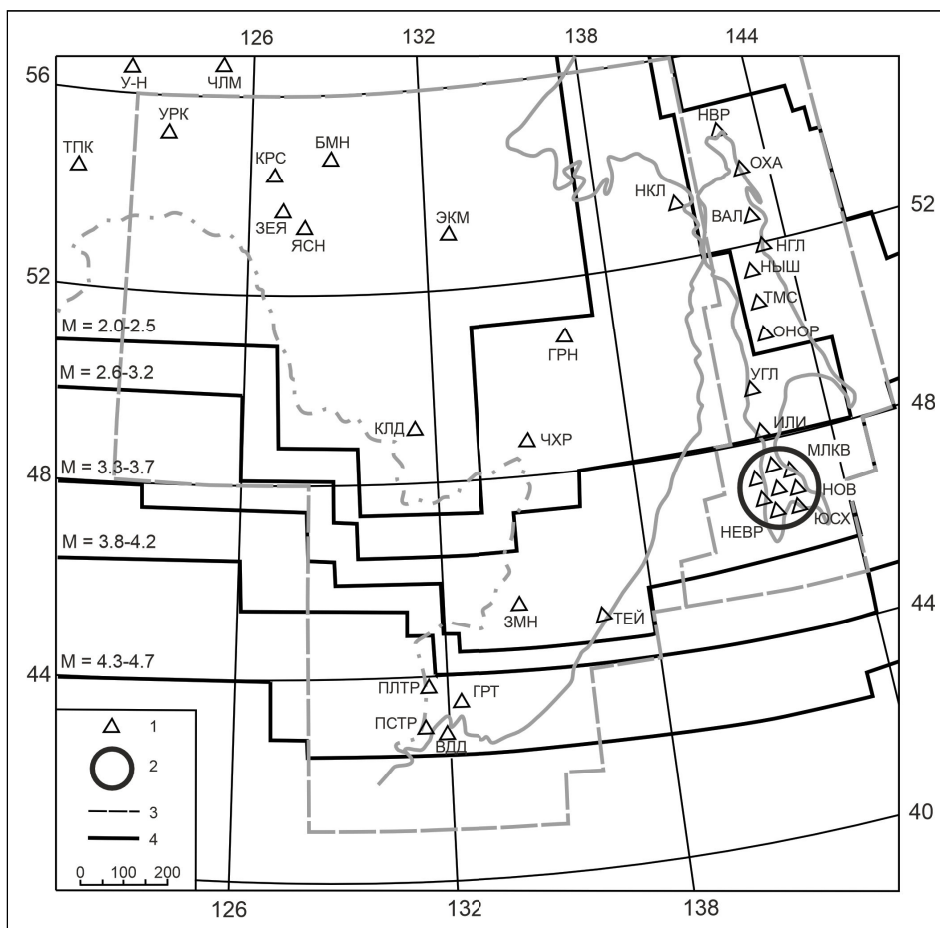


Рис. 1. Карта представительности землетрясений в Приморье, Приамурье и Сахалине за 1995–2008 гг. (по оценкам работы [34]) и сейсмические станции региона исследования в 2021 г. [31]

Обозначения: 1 – сейсмические станции с цифровой регистрирующей аппаратурой; 2 – региональный информационно-обрабатывающий центр Сахалинской сейсмической сети, 3 – границы регионов; 4 – границы зон представительной регистрации землетрясений соответствующих магнитуд.

Fig. 1. Map of representative earthquakes in Primorye, Amur and Sakhalin for 1995–2008 (according to the estimates of [34]) and seismic stations in the study region in 2021 [31]

Notations: 1 – seismic stations with digital recording equipment; 2 – regional information processing center of the Sakhalin seismic network, 3 – borders of regions; 4 – boundaries of zones with representative registration of earthquakes of corresponding magnitudes

деления глубины гипоцентров, при условии, что погрешность не превышала 50% от их глубины.

Представительность сейсмических каталогов в переходной зоне континент-океан за 2003–2021 гг. по данным ФИЦ ЕГС РАН

Наши исследования демонстрируют (рис. 2), что точность определения глубины гипоцентров землетрясений в верхнем слое коры (1–20 км) различалась в пределах от $\pm 0,5$ до 3,0 км в Среднем Приамурье и от $\pm 1,5$ до 5,5 км в Охотоморском регионе в разные годы. Наихудшие

показатели точности в Среднем Приамурье ($\pm 2,9$ км) были зафиксированы в 2007 и в 2013 гг., в то время как в Охотоморском регионе наибольшие погрешности были отмечены в 2010 г. ($\pm 5,7$ км). Средние значения погрешностей составляют соответственно $\pm 1,8$ км и $\pm 2,5$ км.

В пределах нижнего корового слоя земной коры, на глубинах от 21 до 50 км, средние значения погрешности в определении глубины гипоцентров землетрясений в период с 2003 по 2021 гг. составляют $\pm 3,8$ км в Среднем Приамурье и $\pm 7,7$ км в

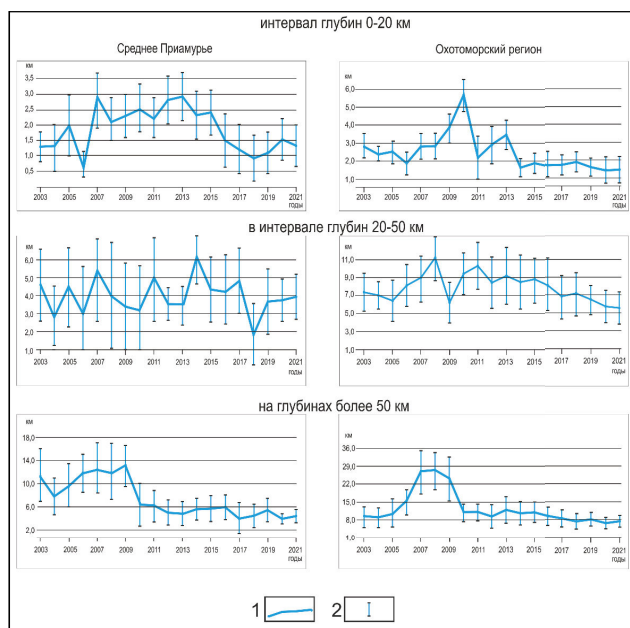


Рис. 2. Точность определения глубин гипоцентров в каталогах ФИЦ ЕГС РАН за 2003–2021 гг.

1 – среднееарифметическая погрешность определения глубины гипоцентров землетрясений, 2 – среднегеометрическая погрешность определения глубины гипоцентров землетрясений

Fig. 2. Accuracy of determining the hypocenters depths in the catalogs of FIC EGS RAS for 2003–2021

1 – arithmetic mean error in determining the depth of earthquake hypocenters, 2 – geometric mean error in determining the depth of earthquake hypocenters

Охотоморском регионе. Одновременно погрешности в определении глубины гипоцентров в верхней мантии демонстрируют более значительные вариации (рис. 2). Максимальные погрешности были зафиксированы в период с 2006 по 2009 гг. Но и в этот период точность определения гипоцентров землетрясений в Приамурье не превышала 8 км, а в Охотоморье – 10 км. С увеличением времени после 2009 г. точность определения глубины гипоцентров в верхней мантии существенно улучшилась, и в обоих регионах она остается в пределах от ± 3.8 до 7.7 км (рис. 2).

Анализируя данные, полученные в период 2003–2015 и 2003–2021 гг. (табл.), наблюдаем уменьшение погрешности определения глубин гипоцентров землетрясений. Это связано с появлением новых сейсмических станций в обоих регионах.

Таблица

Изменение погрешности в определении глубин гипоцентров землетрясений в переходной зоне континент-океан

Table

Changes in the accuracy of determining the earthquake hypocenters depth in the transitional continent-ocean zone

	Среднее Приамурье		Охотоморский регион	
	2003–2015 гг.	2003–2021 гг.	2003–2015 гг.	2003–2021 гг.
1–20 км	2.1	1.8	2.8	2.5
21–50 км	4.2	3.8	8.3	7.7

Представленные оценки основаны на анализе данных, полученных в результате исследования 8257 землетрясений в Приамурье и 25 146 землетрясений в Охотоморском регионе. Эти оценки позволяют проводить исследования в области пространственного распределения гипоцентров землетрясений в трехмерном пространстве, начиная с глубин 5–6 км. Согласно полученным данным (рис. 3), в коре Приамурья наблюдается один основной интервал глубин, на котором землетрясения наиболее активны: 6–15 км. Он соответствует геологической формации, а именно гранитно-метаморфическому жесткому слою.

В Охотоморском регионе, характеризующемся смешанным составом континентальной, островодужной и океанической коры, высокая и повышенная активность землетрясений наблюдается в двух основных интервалах глубин: 6–15 км и 36–50 км. Первый интервал соотносится с геологическим положением гранитно-метаморфического слоя, в то время как второй интервал связан с нижнекоревым слоем в континентальных районах Приохотья. Резкое увеличение числа землетрясений в интервале глубин 41–45 км коррелирует с глубиной залегания подошвы земной коры переходного типа под островными дугами. Эти наблюдения приближаются к распределению глубины энергетических классов землетрясений в Камчатской сейсмофокальной зоне [48], где максимумы сейсмической энергии приурочены к глубинам 16–20 и 36–40 км. Максимальная активность землетрясений в Охотоморском регионе в интервале глубин 41–45 км также соответствует ранее опубликованным данным о распределении гипоцентров землетрясений в Тихоокеанском и Корьякском

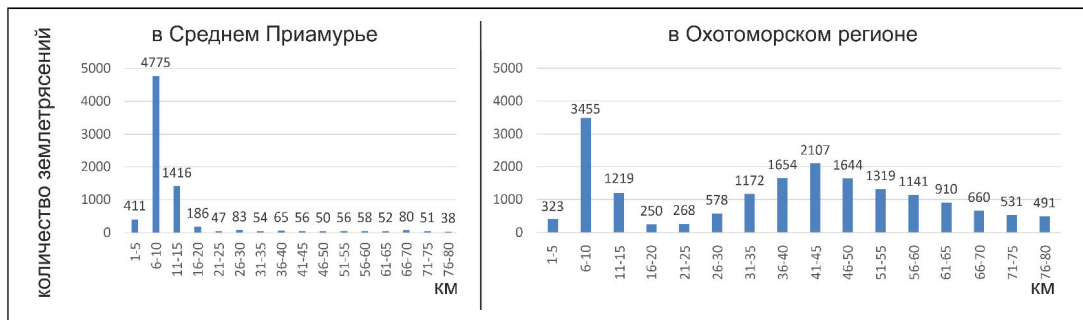


Рис. 3. Распределение гипоцентров землетрясений по глубинам в Приамурском и Охотоморском регионах

Fig. 3. Distribution of earthquakes hypocenters by depths in the Amur and Okhotsk Sea regions

секторах [36]. Следует отметить, что количество землетрясений в верхней мантии экспоненциально убывает с увеличением глубины.

Представленные данные свидетельствуют о том, что накопление и последующая диссипация сейсмической энергии в переходной зоне континент-океан преимущественно происходят в твер-

дых гранитно-метаморфических и переходных коро-мантийных слоях. Мы провели анализ нижнего порога представительной магнитуды землетрясений и ее вариации в пространстве Дальнего Востока России (рис. 4). Магнитуды и координаты гипоцентров землетрясений были определены с использованием станций: Байкальской, Сахалин-

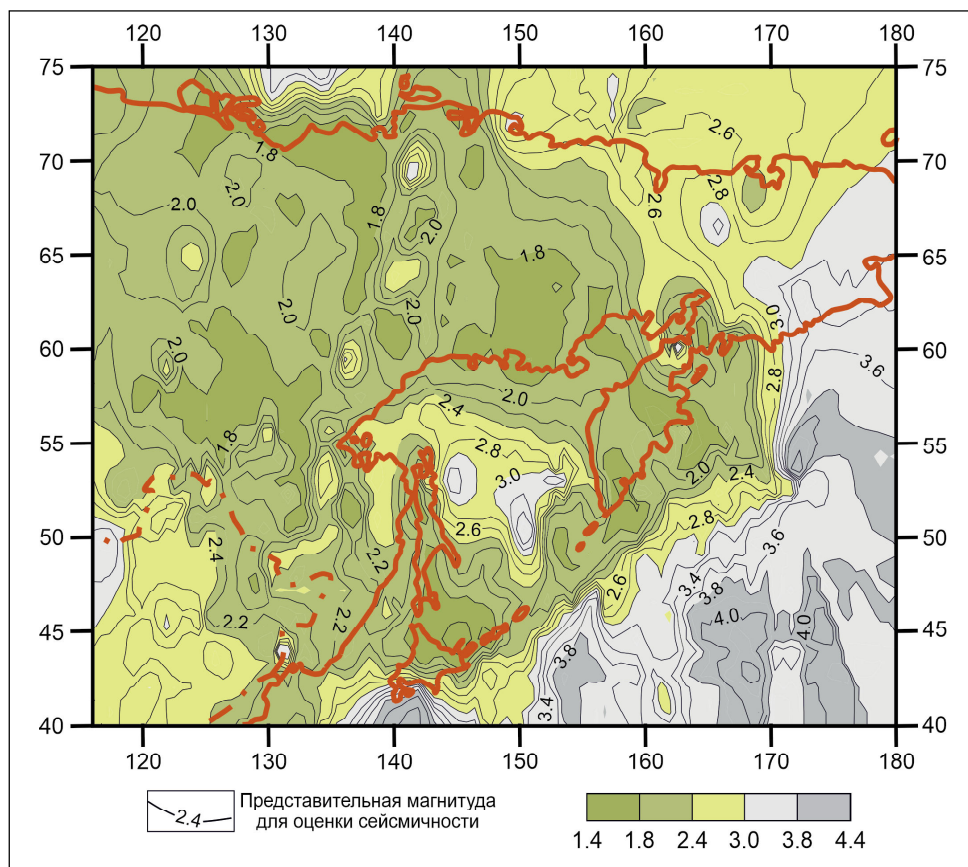


Рис. 4. Представительность магнитуд землетрясений в переходной зоне континент-океан [13–31]

Fig. 4. Representativeness of earthquakes magnitude in the transitional continent-ocean zone [13–31]

ской, Курило-Охотской, Якутской, Магаданской и Камчатской сейсмическими сетями.

Как ожидалось, представительность магнитуд землетрясений зависит от плотности сейсмических станций. Почти на всей территории Дальнего Востока России нижний порог представительной магнитуды M 2.0-2.2 (рис. 4), за исключением района Северо-Восточного Китая и полуострова Чукотка. В обоих регионах увеличение представительной магнитуды маркирует границу наблюдений сейсмических зон: Сахалинской на границе с Китаем, Магаданской и Камчатской на полуострове Чукотка. Понижение значений представительной магнитуды коррелирует с пространственным расположением близкорасположенных сейсмических станций. Самые большие показатели представительной магнитуды $M > 3.4$ регистрируются на Тихом океане, где соответственно нет сейсмических станций.

Изменения минимального порога представительной магнитуды после 2015 г. отмечаются там, где установили новые сейсмостанции в сейсмической сети с редким расположением сейсмических станций. На территории юга Дальнего Востока понижение представительной магнитуды отмечается на севере острова Сахалин и Курильских островах.

Выводы

Проведенные исследования подробно рассмотрели существующие оценки представительности сейсмических данных в переходной зоне континент-океан по сравнению с предыдущими периодами [4, 34]. Основные закономерности распределения представительных магнитуд в период с 2003 по 2021 гг. остались неизменными. Результаты указывают на явную зависимость представительности магнитуд землетрясений от плотности сейсмических станций. Области с более высокой плотностью станций обычно имеют более низкий порог представительной магнитуды, что позволяет более точно регистрировать даже небольшие землетрясения. На территории Дальнего Востока России представительная магнитуда составляет M 2.0-2.2, за исключением определенных районов. Например, в Северо-Восточном Китае и на полуострове Чукотка наблюдается увеличение представительной магнитуды, связанное с границами сейсмических зон. Введение новых сейсмостанций приводит к изменениям минимального порога представительной магнитуды. Это свидетельствует о важности обновления и расширения сейсмической сети для улучшения общей эффективности мониторинга.

Была проведена статистическая оценка погрешности определения глубины гипоцентров с использованием каталогов сейсмических станций Приамурской, Южно-Якутской и Охотоморской сетей в трех глубинных диапазонах: 0–20, 21–50 и более 51 км в период с 2003 по 2021 годы. Отмечается снижение погрешности определения гипоцентров землетрясений. Полученные оценки позволили более подробно изучить распределение гипоцентров землетрясений по глубинам (рис. 3) и привели нас к выводу, что, вероятно, накопление и последующее освобождение напряжений с выделением сейсмической энергии в южных районах Дальнего Востока России происходят в основном в твердых гранитно-метаморфических и переходных коро-мантийных слоях.

Эти исследования показывают возможность проведения статистического анализа пространственных распределений глубин гипоцентров и магнитуд землетрясений в трехмерном пространстве. Это имеет ценность для использования сейсмических данных в исследованиях связи сейсмических процессов с глубинным строением земной коры и верхней мантии [11, 41].

Работа выполнена в рамках тем Государственного задания института комплексного анализа ДВО РАН (Рег. № 121051900034-8).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Богомолов Л.М., Сычёв В.Н., Сычёва Н.А. Сейсмологические приложения нестандартного статистического анализа // Вестник ДВО РАН. 2013. № 3. С. 19–25. EDN: ROOYAF.
2. Бормотов В.А. Геодинамическая модель развития сейсмической активности в Приамурье // Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Сибири. Хабаровск: ИТИГ ДВО РАН, 2010. С. 71–76.
3. Бормотов В.А., Меркулова Т.В. Кайнозойский этап развития северной ветви Тан-лу-Охотской рифтовой системы: глубинное строение и геодинамика // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31, № 1. С. 26–41. EDN: OXSTTL.
4. Васильева М.А. Завьялов А.Д., Петрищевский А.М. Оценка представительности каталогов землетрясений в южных районах Дальнего Востока России за 2003-2015 гг // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 3. С. 5–14. DOI: 10.31433/1605-220X-2018-21-3-5-14.
5. Вашилов Ю.Я. Геолого-геофизические условия возникновения землетрясений на Северо-Востоке России / Ю.Я. Вашилов, О.В. Сахно, Л.Ю. Калинина. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1996. 90 с.

6. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 1 / под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 572 с.
7. Горбунова Е.А., Шерман С.И. Медленные деформационные волны в литосфере: фиксирование, параметры, тектонофизический анализ (Центральная Азия) // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31, № 1. С. 18–25. EDN: OXSTTB.
8. Горкуша С.В. Изучение сейсмичности и глубинного строения Восточного Приамурья на основе кластерного анализа // Тихоокеанская геология. 1996. Т. 15, № 4. С. 67–76.
9. Горкуша С.В., Малышев Ю.Ф. Глубинное строение и сейсмичность зоны сочленения Тихоокеанского и Центрально-Азиатского поясов // Тихоокеанская геология. 1993. № 3. С. 32–51.
10. Горкуша С.В., Онухов Ф.С., Корчагин Ф.Г. Сейсмичность и неотектоника юга Дальнего Востока // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18, № 5. С. 61–68. EDN: XSSGTZ.
11. Губанова М.А., Петрищевский А.М. Гравитационные и сейсмологические признаки релогического расслоения литосферы дальневосточных окраин России // Литосфера. 2014. № 6. С. 150–161. EDN: TJWYUZ.
12. Гусев А.А., Шумилина Л.С., Акатова К.Н. Об оценке сейсмической опасности для города Петропавловска-Камчатского на основе набора сценарных землетрясений // Вестник ОГГГН РАН. 2005. № 1 (23). С. 1–22. URL: <https://www.emsd.ru/~gusev/2005/gusevao2005scenario.pdf> (дата обращения: 15.11.2023).
13. Землетрясения России в 2003 году. Обнинск: ГС РАН, 2006. 112 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2003.html> (дата обращения: 01.11.2023).
14. Землетрясения России в 2004 году. Обнинск: ГС РАН, 2007. 140 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2004.html> (дата обращения: 01.11.2023).
15. Землетрясения России в 2005 году. Обнинск: ГС РАН, 2007. 180 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2005.html> (дата обращения: 01.11.2023).
16. Землетрясения России в 2006 году. Обнинск: ГС РАН, 2009. 216 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2006.html> (дата обращения: 01.11.2023).
17. Землетрясения России в 2007 году. Обнинск: ГС РАН, 2009. 220 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2007.html> (дата обращения: 01.11.2023).
18. Землетрясения России в 2008 году. Обнинск: ГС РАН, 2010. 224 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2008.html> (дата обращения: 01.11.2023).
19. Землетрясения России в 2009 году. Обнинск: ГС РАН, 2011. 208 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2009.html> (дата обращения: 01.11.2023).
20. Землетрясения России в 2010 году. Обнинск: ГС РАН, 2012. 208 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2010.html> (дата обращения: 01.11.2023).
21. Землетрясения России в 2011 году. Обнинск: ГС РАН, 2013. 208 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2011.html> (дата обращения: 01.11.2023).
22. Землетрясения России в 2012 году. Обнинск: ГС РАН, 2014. 224 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2012.html> (дата обращения: 01.11.2023).
23. Землетрясения России в 2013 году. Обнинск: ГС РАН, 2015. 224 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2013.html> (дата обращения: 01.11.2023).
24. Землетрясения России в 2014 году. Обнинск: ГС РАН, 2016. 204 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2014.html> (дата обращения: 01.11.2023).
25. Землетрясения России в 2015 году. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. 212 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2015.html> (дата обращения: 01.11.2023).
26. Землетрясения России в 2016 году. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. 212 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2016.html> (дата обращения: 01.11.2023).
27. Землетрясения России в 2017 году. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. 216 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2017.html> (дата обращения: 01.11.2023).
28. Землетрясения России в 2018 году. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. 212 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2018.html> (дата обращения: 01.11.2023).
29. Землетрясения России в 2019 году. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. 214 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2019.html> (дата обращения: 01.11.2023).
30. Землетрясения России в 2020 году. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. 204 с. URL: <http://www.seme.gsras.ru/zr/2020.html> (дата обращения: 01.11.2023).
31. Землетрясения России в 2021 году. Обнинск:

- ФИЦ ЕГС РАН, 2023. 224 с. URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2021.html> (дата обращения: 01.11.2023).
32. Имаев В.С. Взаимосвязь распределений гранитоидных интрузий и сейсмической активности землетрясений на Северо-Востоке России // Современная геодинамика, активные разломы и сейсмическое районирование. М.: ГИН АН СССР, 1990. С. 5–7.
 33. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Николаев В.В., Семенов Р.М. Буферные сейсмогенные структуры между Евразийской и Амурской литосферными плитами на юге Сибири // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 5–61. EDN: UBZIZZ.
 34. Левин Б.В., Ким Чун Ун, Нагорных Т.В. Сейсмичность Приморья и Приамурья в 1888–2008 гг. // Вестник ДВО РАН. 2008. № 6. С. 16–22. EDN: LPAEVX.
 35. Левин Б.В., Родкин М.В., Сасорова Е.В. Особенности сейсмического режима литосферы – проявления воздействия глубинного водного флюида // Физика Земли. 2010. № 5. С. 88–96. EDN: LRGAPF.
 36. Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю. Сейсмичность Камчатского региона 1962–2011 гг. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 41–64. DOI: 10.7868/S0203030613010057. EDN: PUASZL.
 37. Маловичко А.А., Маловичко Д.А. Применение методов численного моделирования сейсмических волновых полей для изучения разномасштабных проявлений техногенной сейсмичности // Современные математические и геологические модели природной среды: сборник научных трудов. М.: ОИФЗ РАН, 2002. С. 120–138.
 38. Никифоров В.М., Дмитриев И.В., Старжинский С.С. Глубинная геоэлектрическая структура и сейсмичность Приморья (Дальний Восток) // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25, № 4. С. 18–25. EDN: JJYBGF.
 39. Петрищевский А.М. Связь сейсмичности с плотностными неоднородностями литосферы Дальнего Востока России // Вулканология и сейсмология. 2007. № 6. С. 60–71. EDN: HGNXKA.
 40. Петрищевский А.М. Вязкий слой на границе кора-мантия (Дальний Восток) // Геотектоника. 2008. № 5. С. 37–48. EDN: JKSPZ.
 41. Петрищевский А.М., Васильева М.А. 3D-тектонический анализ полей сейсмичности в южных районах Дальнего Востока России // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326, № 3. С. 25–39. EDN: TSXNGP.
 42. Писаренко В.Ф. О законе повторяемости землетрясений // Дискретные свойства геофизической среды. М.: Наука, 1989. С. 47–60.
 43. Садовский М.А. Сейсмический процесс в блоковой среде / М.А. Садовский, В.Ф. Писаренко. М.: Наука, 1991. 96 с.
 44. Сейсмические опасности // Природные опасности России. Т. 2 / отв. ред. Г.А. Соболев. М.: КРУК, 2000. 296 с.
 45. Сейсмическое районирование территории Российской Федерации – ОСР-97 / гл. ред. В.Н. Страхов, В.И. Уломов. М.: Текарт, 2000. 1 к.
 46. Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке / отв. ред. С.А. Федотов. Новосибирск: Наука, 1974. 220 с.
 47. Сеймотектоника и сейсмическое районирование Приамурья / под ред. В.П. Солоненко. Новосибирск: Наука, 1989. 127 с.
 48. Селиверстов М.И. Структура сейсмофокальной зоны Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 1 (9). С. 10–26. EDN: IAGJFB.
 49. Смирнов В.Б. Опыт оценки представительности данных каталогов землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1997. № 4. С. 93–105.
 50. Смирнов В.Б. Прогностические аномалии сейсмического режима. I. Методические основы подготовки исходных данных // Геофизические исследования. 2009. Т. 10. № 2. С. 7–22. EDN: KWUPGB.
 51. Тараканов Р.З. Оценка максимальных возможных магнитуд землетрясений для Курило-Камчатского региона // Природные катастрофы и стихийные бедствия в Дальневосточном регионе. Т. 1. / под ред. А.И. Иващенко. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. С. 28–47.
 52. Тараканов Р.З., Бобков А.О. Оценка предельных магнитуд землетрясений с помощью метода Гумбеля // Региональные проблемы. 2012. Т. 15, № 1. С. 41–47. EDN: TQTIQB.
 53. Тектоника, геодинамика и металлогения территории республики Саха (Якутия). М.: Наука, 2001. 571 с.
 54. Уломов В.И. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сей-

смоопасных районах / В.И. Уломов, Л.С. Шумилина. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 57 с.

55. Шерман С.И., Сорокин А.П., Савицкий В.А. Новые метода классификации сейсмоактивных разломов литосферы по индексу сейсмичности // Доклады Академии наук. 2005. Т. 401, № 3. С. 395–398. EDN: HRXEJJ.
 56. Шерман С.И., Горбунова Е.А. Волновая природа активизации разломов Центральной Азии на базе сейсмического мониторинга // Физическая мезомеханика. 2008. Т. 11, № 1. С. 115–122. EDN: IJRQVX.
 57. Шерман С.И., Ма Дзинь, Демьянович В.М., Гуо Яншуанг. Новые данные о тектонофизических закономерностях эпицентральных и гипоцентральных полей землетрясений рифтовых систем Центральной Азии // Доклады Академии наук. 2014. Т. 456, № 6. С. 723–726. DOI: 10.7868/S0869565214180224. EDN: SFA-LUF.
- REFERENCE:
1. Bogomolov L.M., Sychev V.N., Sycheva N.A. Seismological applications of nonstandard statistical analysis. *Vestnik DVO RAN*, 2013, no. 3, pp. 19–25. EDN: ROOYAF. (In Russ.).
 2. Bormotov V.A. Geodynamic model of the development of seismic activity in the Amur region, in *Problemy seismichnosti i sovremennoi geodinamiki Dal'nego Vostoka i Sibiri* (Problems of seismicity and modern geodynamics of the Far East and Siberia). Khabarovsk: ITIG FEB RAS, 2010, pp. 71–76. (In Russ.).
 3. Bormotov V.A., Merkulova T.V. Cenozoic Stage in the Evolution of the Northern Branch of the Tan Lu-Okhotsk Rift System: Deep Structure and Seismogeodynamics. *Tikhookeanskaya geologiya*, 2012, vol. 31, no. 1, pp. 26–41. EDN: OXSTTL. (In Russ.).
 4. Vasilyeva M.A., Zavyalov A.D., Petrishchevsky A.M. Evaluation of Representative Magnitude for Earthquake Catalogues in Southern Regions of Russian Far East in 2003–2015. *Regional'nye problemy*, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 5–14. DOI: 10.31433/1605-220X-2018-21-3-5-14. (In Russ.).
 5. Vashchilov Yu.Ya. *Geologo-geofizicheskie usloviya vznikonoveniya zemletryasenii na Severo-Vostoke Rossii* (The geological and geophysical conditions of earthquakes origin on the North-East of Russia), Yu.Ya. Vashchilov, O.V. Sakhno, L.Yu. Kalinina. Magadan: NEISRI FEB RAS, 1996. 90 p. (In Russ.).
 6. *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii. Kn. 1* (Geodynamics, magmanism and metallogeny of the russian east. Book 1), A.I. Khanchuk, Ed. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2006. 572 p. (In Russ.).
 7. Gorbunova E.A., Sherman S.I. Slow Deformation Waves in the Lithosphere: Registration, Parameters, and Geodynamic Analysis (Central Asia). *Tikhookeanskaya geologiya*, 2012, vol. 31, no. 1, pp. 18–25. EDN: OXSTTB. (In Russ.).
 8. Gorkusha S.V. Study of seismicity and deep structure of Priamurie on the basis of cluster analysis. *Tikhookeanskaya geologiya*, 1996, vol. 5, no. 4, pp. 67–76. (In Russ.).
 9. Gorkusha, S.V., Malyshev Yu.F. Deep structure and seismicity of the junction of the Pacific and Central-Asian belts. *Tikhookeanskaya geologiya*, 1993, no. 3, pp. 32–51. (In Russ.).
 10. Gorkusha S.V., Onukhov F.S., Korchagin F.G. Seismicity and Neotectonics of the Russian Far East South «Seismicity and Neotectonics of the Russian Far East South». *Tikhookeanskaya geologiya*, 1999, vol. 18, no. 5, pp. 61–68. EDN: XSSGTZ. (In Russ.).
 11. Gubanova M.A. Petrishchevsky A.M. Gravity and seismological fitures of rheological layering of Far East Russia lithosphere. *Litosfera*, 2014, no. 6, pp. 150–161. EDN: TJWYUZ. (In Russ.).
 12. Gusev A.A., Shumilina L.S., Akatova K.N. A specification of seismic hazard for the town of Petropavlovsk-Kamchatsky through scenario earthquakes. *Vestnik OGGGN RAN*, 2005, no. 1 (23), pp. 1–22. Available at: <https://www.emsd.ru/~gusev/2005/gusevao2005scenario.pdf> (accessed: 15.11.2023). (In Russ.).
 13. *Zemletryaseniya Rossii v 2003 godu* (Earthquakes in Russia in 2003). Obninsk: GS RAS, 2006. 112 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2003.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 14. *Zemletryaseniya Rossii v 2004 godu* (Earthquakes in Russia in 2004). Obninsk: GS RAS, 2007. 140 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2004.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 15. *Zemletryaseniya Rossii v 2005 godu* (Earthquakes in Russia in 2005). Obninsk: GS RAS, 2007. 180 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2005.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 16. *Zemletryaseniya Rossii v 2006 godu* (Earthquakes in Russia in 2006). Obninsk: GS RAS, 2009. 216 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2006.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 17. *Zemletryaseniya Rossii v 2007 godu* (Earthquakes in Russia in 2007). Obninsk: GS RAS, 2009. 220 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/>

- zr/2007.html (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
18. *Zemletryaseniya Rossii v 2008 godu* (Earthquakes in Russia in 2008). Obninsk: GS RAS, 2010. 224 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2008.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 19. *Zemletryaseniya Rossii v 2009 godu* (Earthquakes in Russia in 2009). Obninsk: GS RAS, 2011. 208 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2009.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 20. *Zemletryaseniya Rossii v 2010 godu* (Earthquakes in Russia in 2010). Obninsk: GS RAS, 2012. 208 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2010.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 21. *Zemletryaseniya Rossii v 2011 godu* (Earthquakes in Russia in 2011). Obninsk: GS RAS, 2013. 208 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2011.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 22. *Zemletryaseniya Rossii v 2012 godu* (Earthquakes in Russia in 2012). Obninsk: GS RAS, 2014. 224 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2012.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 23. *Zemletryaseniya Rossii v 2013 godu* (Earthquakes in Russia in 2013). Obninsk: GS RAS, 2015. 224 p. URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2013.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 24. *Zemletryaseniya Rossii v 2014 godu* (Earthquakes in Russia in 2014). Obninsk: GS RAS, 2016. 204 p. URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2014.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 25. *Zemletryaseniya Rossii v 2015 godu* (Earthquakes in Russia in 2015). Obninsk: FRC GS RAS, 2017. 212 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2015.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 26. *Zemletryaseniya Rossii v 2016 godu* (Earthquakes in Russia in 2016). Obninsk: FRC GS RAS, 2018. 212 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2016.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 27. *Zemletryaseniya Rossii v 2017 godu* (Earthquakes in Russia in 2017). Obninsk: FRC GS RAS, 2019. 216 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2017.html> (date of reference: 01.11.2023). (In Russ.).
 28. *Zemletryaseniya Rossii v 2018 godu* (Earthquakes in Russia in 2018). Obninsk: FRC GS RAS, 2020. 212 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2018.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 29. *Zemletryaseniya Rossii v 2019 godu* (Earthquakes in Russia in 2019). Obninsk: FRC GS RAS, 2021. 214 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2019.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 30. *Zemletryaseniya Rossii v 2020 godu* (Earthquakes in Russia in 2020). Obninsk: FRC GS RAS, 2022. 204 p. URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2020.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 31. *Zemletryaseniya Rossii v 2021 godu* (Earthquakes in Russia in 2021). Obninsk: FRC GS RAS, 2023. 224 p. Available at: <http://www.ceme.gsras.ru/zr/2021.html> (accessed: 01.11.2023). (In Russ.).
 32. Imaev V.S. Interrelation of granitoid intrusion distributions and seismic activity of earthquakes in the North-East of Russia, in *Sovremennaya geodinamika, aktivnye razlomy i seismicheskoe raionirovanie* (Modern geodynamics, active faults and seismic zoning). Moscow: GIN of the USSR Academy of Sciences, 1990, pp. 5–7. (In Russ.).
 33. Imaev V.S., Imaeva L.P., Koz'min B.M., Nikolaev V.V., Semenov R.M. Buffer seismogenic structures between the Eurasian and Amurian lithospheric plates in Southern Siberia. *Tikhookeanskaya geologiya*, 2003, vol. 22, no. 6, pp. 5–61. EDN: UBZIZZ. (In Russ.).
 34. Levin B.V., Kim Chun Un, Nagornykh T.V. Seismicity of Primorye and Priamurye regions in 1888–2008. *Vestnik DVO RAN*, 2008, no. 6, pp. 16–22. EDN: LPAEVX. (In Russ.).
 35. Levin B.V., Rodkin M.V., Sasorova E.V. Specific Features of the Seismic Regime in the Lithosphere: Manifestations of the Deep Aqueous Fluid Action. *Fizika Zemli*, 2010, no. 5, pp. 88–96. EDN: LRGAPF. (In Russ.).
 36. Levina V.I., Lander A.V., Mityushkina S.V., Chebrova A.Y. The Seismicity of the Kamchatka Region: 1962–2011. *Vulkanologiya i seismologiya*, 2013, no. 1, pp. 41–64. DOI: 10.7868/S0203030613010057. EDN: PUASZL. (In Russ.).
 37. Malovichko A.A., Malovichko D.A. Application of methods of numerical modeling of seismic wave fields for the study of multi-scale manifestations of tectogenic seismicity, in *Sovremennye matematicheskie i geologicheskie modeli prirodnoi sredy: sbornik nauchnykh trudov* (Modern mathematical and geological models of the natural environment: collection of scientific papers). Moscow: OIFZ RAS, 2002, pp. 120–138. (In Russ.).
 38. Nikiforov V.M., Dmitriev I.V., Starzhinskiy S.S. Deep geoelectrical structure and seismicity of Primorye (Far East). *Tikhookeanskaya geologiya*, 2006, vol. 25, no. 4, pp. 18–25. EDN: JJYBGF. (In Russ.).
 39. Petrishchevsky A.M. The Relation of Seismicity to Lithospheric Density Inhomogeneities in the Russian Far East. *Vulkanologiya i seismologiya*,

- 2007, no. 6, pp. 60–71. EDN: HG NXKA. (In Russ.).
40. Petrishchevsky A.M. A Viscous Layer at the Crust–Mantle Boundary in the Far East of Russian. *Geotektonika*, 2008, no. 5, pp. 37–48. EDN: JKCSPZ. (In Russ.).
 41. Petrishchevsky A.M., Vasileva M.A. 3D-Tectonic Analysis of Seismicity Fields in the South Regions of Russian Far East. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2015, vol. 326, no. 3, pp. 25–39. EDN TSXNGP. (In Russ.).
 42. Pisarenko V.F. On the law of earthquake recurrence, in *Diskretnye svoystva geofizicheskoi sredy* (Discrete properties of the geophysical environment). Moscow: Nauka Publ., 1989, pp. 47–60. (In Russ.).
 43. Sadovsky M.A. *Seismicheskii protsess v blokovoi srede* (Seismic process in a block environment), M.A. Sadovsky, V.F. Pisarenko. Moscow: Nauka Publ., 1991. 96 p. (In Russ.).
 44. Seismic hazards, in *Prirodnye opasnosti Rossii* (Natural hazards of Russia), vol. 2, G.A. Sobolev, Ed. Moscow: KRUK, 2000. 296 p. (In Russ.).
 45. *Seismicheskoe raionirovanie territorii Rossiiskoi Federatsii – OSR-97* (Seismic zoning of the territory of the Russian Federation – OSR-97), V.N. Strakhov, V.I. Ulomov Ed. Moscow: Tekart Publ., 200. 1 k. (In Russ.).
 46. *Seismichnost' i seismicheskii prognoz, svoystva verkhnei mantii i ikh svyaz' s vulkanizmom na Kamchatke* (Seismicity and seismic forecast, properties of the upper mantle and their connection with volcanism in Kamchatka), S.A. Fedotov, Ed. Novosibirsk: Nauka Publ., 1974. 220 p. (In Russ.).
 47. *Seismotektonika i seismicheskoe raionirovanie Priamur'ya* (Seismotectonics and seismic zoning of the Amur region), V.P. Solonenko, Ed. Novosibirsk: Nauka Publ., 1989. 127 p. (In Russ.).
 48. Seliverstov M.I. Structure of Kamchatka Seismo-Focal Zone. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle*, 2007, no. 1 (9), pp. 10–26. EDN: IAGJFB. (In Russ.).
 49. Smirnov V.B. An attempt at estimating data representativeness for earthquake catalogs. *Vulkanologiya i seismologiya*, 1997, no. 4, pp. 93–105. (In Russ.).
 50. Smirnov V.B. Prognostic Anomalies of Seismic Regime. I. Technique for Preparation of Original Data. *Geofizicheskie issledovaniya*, 2009, vol. 10, no. 2, pp. 7–22. EDN: KWUPGB. (In Russ.).
 51. Tarakanov R.Z. Assessment of the maximum possible earthquake magnitudes for the Kuril-Kamchatka region, in *Prirodnye katastrofy i stikhiinye bedstviya v Dal'nevostochnom regione* (Natural disasters and natural disasters in the Far Eastern region), vol. 1, A.I. Ivashchenko, Ed. Vladivostok: Far Eastern Branch of the USSR Academy of Sciences, 1990, pp. 28–47. (In Russ.).
 52. Tarakanov R.Z., Bobkov A.O. Evaluation of Extreme Magnitudes of Earthquakes Using the Method of Gumbel. *Regional'nye problemy*, 2012, vol. 15, no. 1, pp. 41–47. EDN: TQTIQB. (In Russ.).
 53. *Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii respubliki Sakha (Yakutiya)* (Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia)). Moscow: Nauka Publ., 2001. 571 p. (In Russ.).
 54. Ulomov V.I. *Komplekt kart obshchego seismicheskogo raionirovaniya territorii Rossiiskoi Federatsii – OSR-97. Masshtab 1:8 000 000. Ob'yasnitel'naya zapiska i spisok gorodov i naselennykh punktov, raspolozhennykh v seismoopasnykh raionakh* (A set of maps of the general seismic zoning of the territory of the Russian Federation – OSR-97. Scale 1:8 000 000. Explanatory note and list of cities and settlements located in earthquake-prone areas), V.I. Ulomov, L.S. Shumilina. Moscow: OIFZ RAS, 1999. 57 p. (In Russ.).
 55. Sherman S.I., Sorokin A.P., Savitskii V.A. New Methods for the Classification of Seismoactive Lithospheric Faults Based on the Index of Seismicity. *Doklady Akademii nauk*, 2005, vol. 401, no. 3, pp. 395–398. EDN: HRXEJJ. (In Russ.).
 56. Sherman S.I., Gorbunova E.A. Wave Origin of Fault Activation in the Central Asia on the Basis of Seismic Monitoring. *Fizicheskaya mezomekhanika*, 2008, vol. 11, no. 1, pp. 115–122. EDN: IJRQVX. (In Russ.).
 57. Sherman S.I., Jin M., Dem'yanovich V.M., Yanshuang G. New Data on Tectonophysical Regularities of the Epicentral and Hypocentral Earthquake Fields in the Rift Systems of Central Asia. *Doklady Akademii nauk*, 2014, vol. 456, no. 6, pp. 723–726. DOI: 10.7868/S0869565214180224. EDN: SFALUF. (In Russ.).

REPRESENTATIVENESS EVOLUTION OF THE EARTHQUAKE'S CATALOGS GS RAS CONTINENT-OCEAN TRANSITION ZONE FOR 2003–2021

M.A. Ovsienko

The author gives evaluation of seismic transitional zone continent-ocean catalogs representativeness using the FIC EGS RAS summary data (Obninsk) for the period of 2003–2021. In the investigation process it has been compiled a map of the minimum representative magnitude, characteristic of the Far Eastern region. It emphasizes that a significant portion of area in the Russian Far East has a lower threshold of earthquake representation with magnitudes ranging from 1.8 to 2.0. The representative magnitude sharp increase marks the boundary of seismic zones observations: the Sakhalin network on the border with China, the Magadan and Kamchatka networks on the Chukotka Peninsula. When comparing the periods of 2003–2015 and 2003–2021, the overall pattern of representative magnitude distribution remains consistent. In the regions with a sparse station distribution within the seismic monitoring network, new seismic stations show changes in the minimum threshold of representative magnitude. In the southern Far East, there is a decrease in the representative magnitude threshold, also noted in the northern part of Sakhalin and the Kuril Islands. The accuracy of determining the upper crustal earthquakes (range of depths 0–20 km) hypocenters depths in the Amur region is an average of ± 1.8 km, and in the Okhotsk Sea region – ± 2.5 km. At the same time, the accuracy of estimations in the lower crustal layer (range of depths 21–50 km) is ± 3.8 km in the Middle Amur Region, and ± 7.7 km in the Okhotsk Sea region. It is found a significant reduction in the measurement error of earthquakes hypocenters depths determining, as compared to the period of 2003– 2015.

Keywords: representativeness, earthquakes, magnitude, hypocenter.

Reference: Ovsienko M.A. Representativeness evolution of the earthquake's Catalogs GS RAS continent-ocean transition zone for 2003–2021. *Regional'nye problemy*, 2023, vol. 26, no. 4, pp. 40–51. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-2023-26-4-40-51.

Поступила в редакцию 13.11.2023

Принята к публикации 18.12.2023