

УДК 550.34

МОНИТОРИНГ СЕЙСМОАКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ СЕЙСМИЧНОСТИ (СОУС'09) В 2017-2019 гг.

Воропаев П.В., Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А.

*Камчатский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», г. Петропавловск-Камчатский,
chicoli@emsd.ru*

Введение

В настоящее время весьма актуальной является задача оперативного получения и представления в интуитивно понятном виде информации о состоянии сейсмичности различных сейсмоактивных областей Камчатского края. Одним из способов решения является использование автоматизированной системы оценки уровня сейсмичности, реализованной в виде компьютерной программы, алгоритм вычислений которой основан на методике Статистической Оценки Уровня Сейсмичности (СОУС'09).

Методика СОУС'09

В основе шкалы методики СОУС'09 лежит статистическая функция распределения логарифма выделившейся сейсмической энергии в качестве параметра, характеризующего уровень сейсмичности заданной пространственной области в определенный временной интервал. Такая шкала позволяет формализовать такие понятия как "сейсмический фон" и "аномалии", определяя их в границах величины базового параметра (квантилей функции распределения) логарифма выделившейся сейсмической энергии lgE для заданного временного окна ΔT .

Шкала СОУС'09 включает в себя семь градаций: *экстремально высокий, высокий, фоновый повышенный, фоновый средний, фоновый пониженный, низкий, экстремально низкий* уровень.

Методика СОУС'09 [3] разработана в Камчатском филиале Геофизической службы РАН. Ее основной особенностью является способность в качественных терминах, понятных даже неспециалистам, дать характеристику сейсмичности в заданной пространственно-временной области.

Районы общего и детализированного мониторинга уровня сейсмичности

Основной зоной мониторинга уровня сейсмичности является область ответственности Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН в соответствии с принятым разделением между филиалами Единой геофизической службы РАН (рис. 1 А). Данный регион содержит всю Камчатку, а также прилегающие территории. Учитывая неоднородность распределения сейсмичности и неравномерное расположение сейсмических станций [1], аналогичный расчет производится Камчатской сейсмоактивной области (КСО), ограниченной широтой $\varphi=50.5$ и $56.5^\circ N$, долготой $\lambda=156.0$ и $167.0^\circ E$ (рис. 1 Б), глубиной от 0 до 300 км.

Детальный мониторинг сейсмичности производится для областей, определенных в соответствии с регионализацией сейсмоактивного объема Камчатки и прилегающих территорий, которая учитывает тектоно-географическое положение очагов землетрясений [2] (Рис. 2). Условию достаточной статистики землетрясений, требуемой методикой, в пределах рассматриваемого объекта соответствуют зоны: сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки; северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны; Командорский сегмент Алеутской дуги; Тихий океан; континентальные области Камчатки; Корякский сейсмический пояс (Рис. 2А). Еженедельный мониторинг уровня сейсмичности по шкале СОУС'09, производимый для указанных выше зон, позволяет наблюдать динамику сейсмичности в обособленной сейсмогенерирующей структуре.

Заливы Восточной Камчатки, с одной стороны, являются наиболее сейсмоактивной частью рассматриваемого региона, с другой – их можно рассматривать как детализацию общей картины. Поэтому дополнительно рассматриваются сейсмические области: юг Камчатки, Авачинский залив, Кроноцкий залив, Камчатский залив (рис. 2Б).

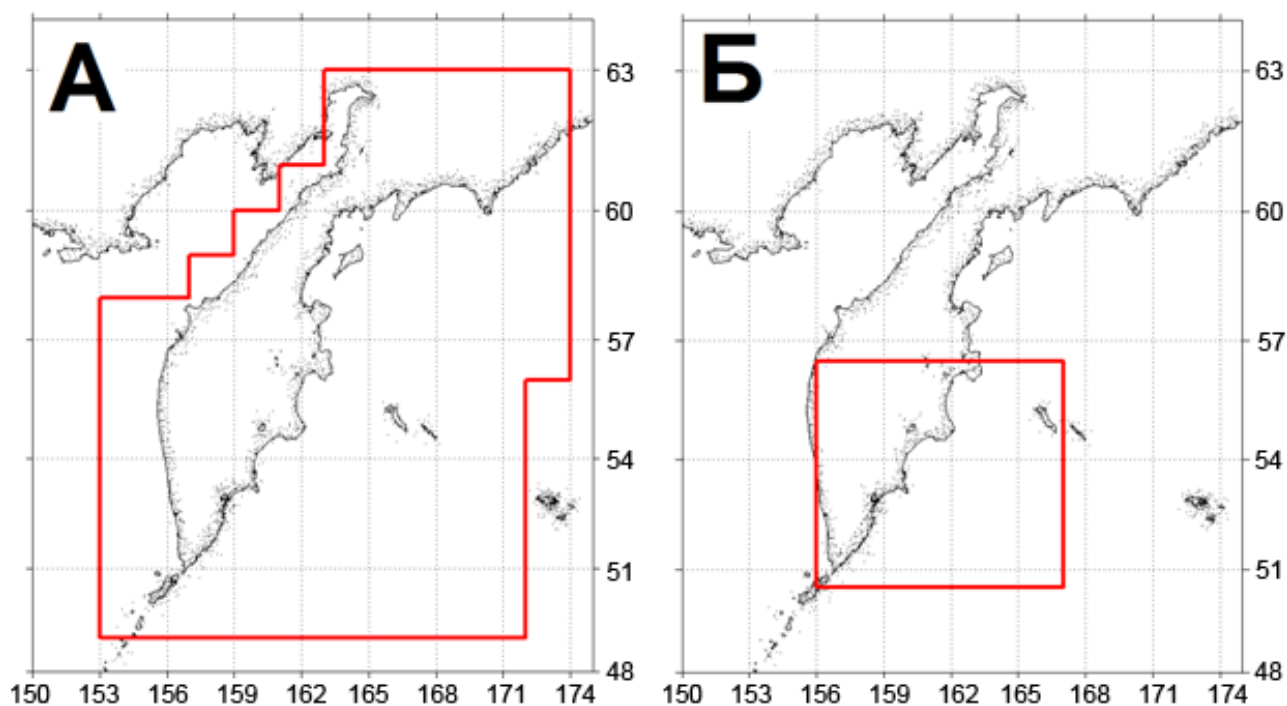


Рисунок 1. Районы мониторинга уровня сейсмичности. А - область ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН; Б – Камчатская сейсмоактивная область (КСО).

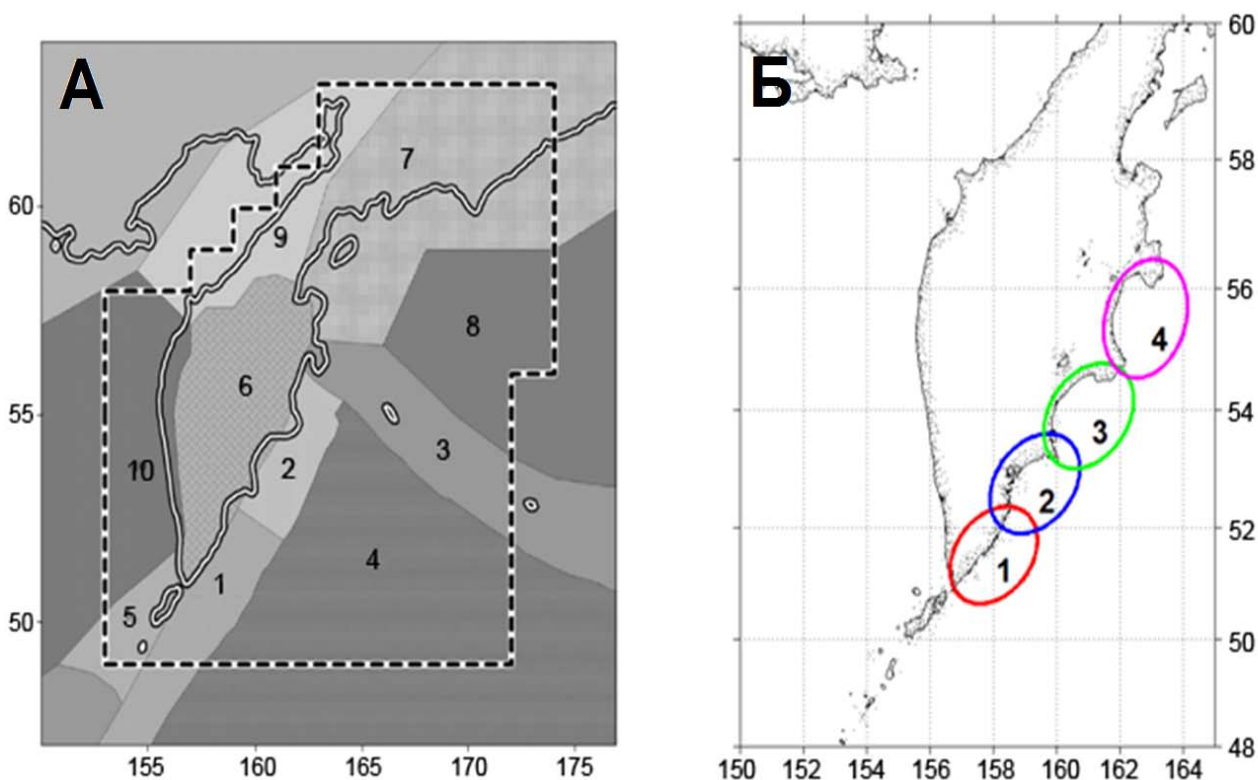


Рисунок 2. А – Поверхностное сечение зон сейсмичности Камчатского региона и его окрестностей [2]: 1 – Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки; 2 – Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны; 3 – Командорский сегмент Алеутской дуги; 4 – Тихий океан; 5 – Северные Курилы; 6 – Континентальные области Камчатки; 7 – Корякский сейсмический пояс; 8 – Берингово море; 9 – Залив Шелихова; 10 – Охотия. Пунктирная линия – граница зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН.
Б – Зоны мониторинга уровня сейсмичности по шкале СОУС'09 обусловленные географическим расположением: 1 – Юг Камчатки, 2 – Авачинский залив, 3 – Кроноцкий залив, 4 – Камчатский залив.

Зона ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН

В 2017 году произошло пять землетрясений, вызвавших повышение сейсмичности до *высокого* и *экстремально высокого* уровня. Наиболее сильное землетрясение 17.07.2017 г. M_w 7.8, зарегистрированное за рассматриваемый временной интервал, вызвало повышение сейсмичности до *экстремально высокого* уровня во временных окнах 5–110 суток, до *высокого* уровня в окнах 111–365 суток. Значительных понижений уровня сейсмичности не происходило (рис. 3).

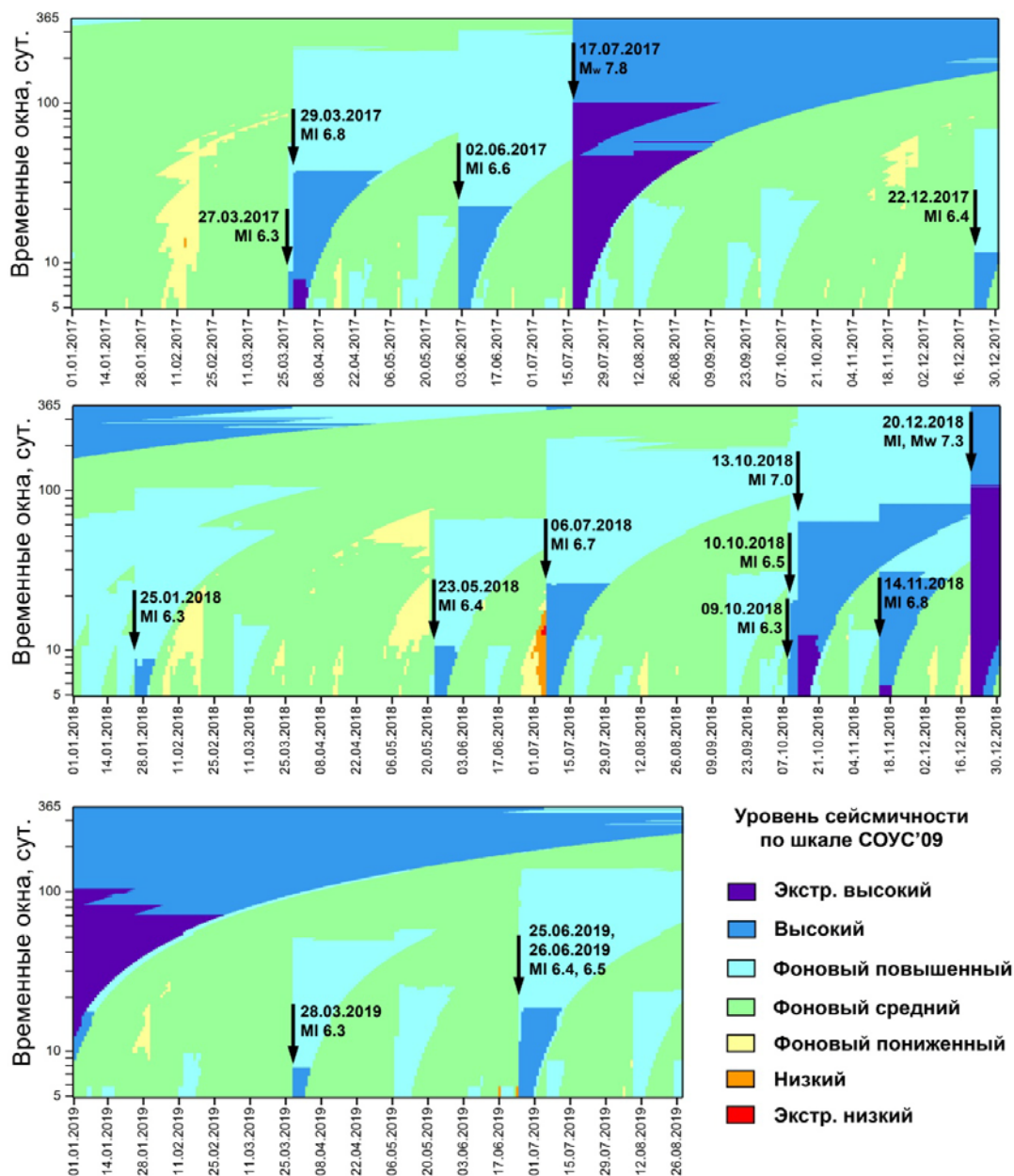


Рис. 3. Временной ход уровня сейсмичности в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН в различных временных окнах в 2017 – 2019 гг.

В 2018 г. произошло восемь землетрясений, повысивших сейсмичность до *высокого* и *экстремально высокого* уровня. Сильное землетрясение 13.10.2018 г. M_L 7.0, вызвало повышение сейсмичности до *экстремально высокого* уровня во временных окнах 5–14 суток, до *высокого* уровня в окнах 15–66 суток. Землетрясение 06.07.2018 г. M_L 6.7 предвещали снижением уровня сейсмичности до *низкого* уровня и *экстремально низкого* уровня во временных окнах 5–16 суток. Эффекты снижения уровня сейсмичности перед сильными землетрясениями на региональном уровне наблюдались и ранее [4–6]. В перспективе это может учитываться как дополнительный фактор при краткосрочной оценке развития сейсмической обстановки на Камчатке. Сильнейшим землетрясением 2018 года было событие 20.12.2018 M_L 7.3 увеличившее сейсмичность до *экстремально высокого*

уровня во временных окнах 5–110 суток. С января по август 2019 года только три землетрясения (28.03.2019 M_L 6.3, 25–26.06.2019 M_L 6.4, 6.5) вызвали повышение сейсмичности до *высокого* уровня. Значительных снижений уровня сейсмичности не наблюдалось (рис. 3).

Камчатская сейсмоактивная область

В 2017 году произошло два землетрясения, вызвавших повышение сейсмичности до *высокого* и *экстремально высокого* уровня. Наиболее сильное землетрясение 22.12.2017 г. M_L 6.4, зарегистрированное за рассматриваемый временной интервал, вызвало повышение сейсмичности до *высокого* уровня во временных окнах 5–25 суток. Во второй половине октября наблюдается снижение сейсмичности до *низкого*, *экстремально низкого* уровня во временных окнах 5–30 суток. В 2018 г. в КСО произошло шесть землетрясений, вызвавших повышение сейсмичности до *высокого* и *экстремально высокого* уровня. Из них наиболее сильные землетрясения: 14.11.2018 г. M_L 6.8 и 06.07.2018 M_L 6.7, 20.12.2018 M_L 7.3 вызвали повышение сейсмичности до *экстремально высокого* уровня. Данные землетрясения предварялись снижением уровня сейсмичности КСО до *низкого* уровня во временных окнах 9 и 5–35 суток соответственно. Аналогичный эффект понижения уровня сейсмичности до *низкого* уровня наблюдался перед землетрясением 23.05.2018 M_L 6.4 во временных окнах 22–35 суток. В первой половине августа 2018 г. отмечена сейсмическая аномалия, выраженная в виде снижения сейсмичности до *экстремально низкого* уровня во временных окнах до 28 суток, возникшая вскоре после землетрясения 06.07.2018 M_L 6.7. В 2019 году произошло два землетрясения, повысившие сейсмичность до *высокого* уровня (28.03.2019 M_L 6.3, 09.08.2019 M_L 6.0) и два до *экстремально высокого* уровня (25–26.06.2019 M_L 6.4, 6.5).

Юг Камчатки

В 2017 году только одно землетрясение 27.02.2017 г. M_L 5.3 вызвало рост сейсмичности до *высокого* уровня. С марта по декабрь сейсмичность находилась на *фоновом* уровне. В 2018 году во второй половине года произошло четыре сильных землетрясения, из них три вызвали повышение уровня сейсмичности до *высокого* уровня, а одно – до *экстремально высокого* уровня. Наиболее сильному землетрясению – 06.07.2018 M_L 6.7 предшествовало сейсмическое затишье в виде снижения сейсмичности до *низкого*, *экстремально низкого* уровня в достаточно продолжительный временной интервал – 4–8 месяцев. В 2019 году произошло одно землетрясение (11.02.2019 M_L 5.4) поднявшее сейсмичность на высокий уровень.

Авачинский залив

В 2017 году два землетрясения, вызвавших повышение сейсмичности до *высокого* и *экстремально высокого* уровня. Наиболее сильное землетрясение 29.09.2017 г. M_L 6.0, зарегистрированное за рассматриваемый временной интервал, вызвало повышение сейсмичности до *экстремально высокого* уровня во временных окнах 5–12 суток, до *высокого* в окнах 13–45 суток. В марте и во второй половине декабря наблюдались сейсмические аномалии в виде снижения сейсмичности до *низкого* и *экстремально низкого* уровня во временных окнах 5–90 и 5–35 суток соответственно. В 2018 г. в зоне Авачинского залива произошло три землетрясения с магнитудой M_L 5.7–5.8, вызвавшие повышение сейсмичности до *высокого* уровня. Перед каждым из этих землетрясений наблюдалось снижение сейсмичности до *низкого* и *экстремально низкого* уровня. Наблюдавшаяся с августа по сентябрь сейсмическая аномалия в виде *экстремально низкого* уровня во временных окнах 15–90 суток не может быть уверенно связана с землетрясением 2.11.2018 г. M_L 5.8. В январе 2019 года происходят два землетрясения (03.01.2019 M_L 5.4, 12.01.2019 M_L 5.5) увеличившие сейсмичность до *высокого* уровня. С февраля по июль происходит несколько понижений уровня сейсмичности до *низкого* и *экстремально низкого* уровня в интервале временных окон 5–200 суток.

Кроноцкий залив

В течении 2017 года произошло пять землетрясений, вызвавших повышение сейсмичности до *высокого* и *экстремально высокого* уровня, чередующихся с периодами снижения сейсмичности. Сильнейшим из них было землетрясение 22.12.2017 г. M_L 6.4, которое вызвало повышение сейсмичности до *экстремально высокого* уровня во временных окнах 5–80 суток. В 2018 году произошло четыре землетрясения, вызвавших увеличение сейсмичности до *высокого* уровня. С мая по сентябрь 2018 г. наблюдалась ярко выраженная сейсмическая аномалия в виде снижения сейсмичности до *экстремально низкого* уровня во временных окнах 15–150 суток. С января по август

2019 года происходит четыре землетрясения, сопровождавшиеся повышением сейсмичности до *высокого* уровня в интервале временных окон 5–9 суток. С июня по июль наблюдалось понижение сейсмичности до *фонового пониженного* и *низкого* уровня во временных окнах 5–100 суток.

Камчатский залив

В январе 2017 наблюдалась сейсмическая аномалия в виде снижения сейсмичности до *экстремально низкого* уровня. Только одно землетрясение 20.02.2017 г. M_L 5.3 вызвало повышение сейсмичности до *высокого* уровня. В 2018 году произошли два землетрясения (23.05.2018 M_L 6.4, 14.11.2018 M_L 6.9), вызвавшие повышение сейсмичности до *экстремально высокого* уровня. Перед этими двумя событиями наблюдалось трехнедельное понижение сейсмичности до *низкого* и *экстремально низкого* уровня во временных окнах 12–30 суток. С января по август 2019 г. только одно землетрясение (09.08.2019 M_L 6.0) вызвало повышение сейсмичности до *экстремально высокого* уровня во временном окне 5 суток и до *высокого* уровня в окнах 6–25 суток.

Командорский сегмент Алеутской дуги

В 2017 году три землетрясения вызвали повышение сейсмичности до *экстремально высокого* уровня. Наиболее сильное воздействие произвело Ближне-Алеутское землетрясение 17.07.2017 г. M_L 7.3, M_w 7.8, которое повысило сейсмичность до *экстремально высокого* уровня во всем диапазоне рассматриваемых временных окон (5–365 суток). В 2018 г. в рассматриваемой зоне произошло три сильных землетрясения. Из них два вызвали увеличение сейсмичности до *высокого* уровня и одно до *экстремально высокого* уровня. В 2019 г. сильных землетрясений в данной зоне не наблюдалось. За рассматриваемые три года зафиксировано отсутствие временных отрезков с сейсмичностью *низкого* уровня, что можно считать особенностью данного временного интервала.

Заключение

На основании регионального каталога камчатских землетрясений ведется еженедельный мониторинг уровня сейсмичности сейсмоактивных областей Камчатки по шкале СОУС'09. Результаты мониторинга передаются в аппаратно-программный комплекс «Безопасный город» Камчатского края и рассматриваются на заседаниях Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (КФ РЭС).

Определены сильнейшие землетрясения, произошедшие в 2017–2019 гг., которые вызвали повышение сейсмичности до *высокого* и *экстремально высокого* уровня в рассматриваемых областях.

Следует отметить, что одни и те же землетрясения, в зависимости от рассматриваемой области производят различные изменения уровня сейсмичности. Например, одно землетрясение, вызвавшее *экстремально высокий* уровень в Авачинском заливе, в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН будет рассматриваться как фоновое событие. Поэтому, на основе данных мониторинга по шкале СОУС'09 можно ввести региональную характеристику землетрясений по их вкладу в сейсмический процесс на соответствующем пространственном масштабном уровне.

Обнаружены эффекты снижения уровня сейсмичности, которые в перспективе могут учитываться как дополнительный фактор при краткосрочной оценке развития сейсмической обстановки на Камчатке включая прогноз сильных землетрясений.

Список литературы

1. Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Левина В.И., Сеньюков С.Л., Шевченко Ю.В., Яцук В.В. Система сейсмологических наблюдений на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 6–27.
2. 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.
3. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2011. № 2. С. 53–59.
4. Салтыков В.А., Кравченко Н. М. Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2012–2015 году. Обнинск.
5. Салтыков В.А., Кравченко Н. М., Воропаев П.В. Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2016 году. Обнинск: 2018. С. 80–87.
6. Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Кравченко Н.М., Коновалова А.А. Параметрическое представление динамики сейсмичности Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 65–84.