

УДК 550.34

Приливные эффекты в сейсмичности Авачинского вулкана

© 2023 г. Ю.В. Шевченко, В.В. Яковенко

КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск Камчатский, Россия

Поступила в редакцию 05.05.2022 г.

Аннотация. Гравитационное взаимодействие между Землёй, Луной и Солнцем носит периодический характер, действующий в глобальном масштабе и вызывающий земные и морские приливы. Изучение вариаций сейсмичности, связанной с лунно-солнечными приливами, — традиционная задача сейсмологии. Цель представленного исследования — изучение связи числа вулканических землетрясений с уровнем приливных нагрузок на примере Авачинского вулкана, расположенного на юго-востоке Камчатки. Установлен эффект возрастания интенсивности потока вулканических землетрясений с ростом уровня морского прилива и отлива. В работе использовались записи вертикальной компоненты канала смещения массы сейсмометра CMG-3ТВ.

Ключевые слова: прилив, вулканические землетрясения, сейсмометр CMG-3ТВ.

Для цитирования: Шевченко Ю.В., Яковенко В.В. Приливные эффекты в сейсмичности Авачинского вулкана // Российский сейсмологический журнал. — 2023. — Т. 5, № 1. — С. 89–95. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2023.1.06>. — EDN: MEVODW

Введение

Степень зависимости сейсмической активности вулканов от приливных нагрузок, вызванных гравитационным влиянием Луны и Солнца, привлекала внимание многих учёных. Исследования показали противоречивые результаты. В работе [Tolstoy *et al.*, 2002] на основании двухмесячных наблюдений обнаружена корреляция между роевой сейсмичностью во время активизации подводного вулкана и океанским приливом. Корреляция роевой сейсмичности на вулкане Павлова, Аляска, с приливными напряжениями продемонстрирована в [McNutt, Beavan, 1981]. Доказательства против корреляции между сейсмовулканической активностью и приливным напряжением приведены в [Neuberg, 2000]. В качестве кандидатов на внешнюю модуляцию предлагаются барометрические и температурные эффекты, каменные лавины и абляция льда. Обзор публикаций по этой теме сделан в [Emter, 1981]. Возможная причина такого количества предположений о триггерных механизмах запуска сейсмической активности на вулканах состоит в использовании недостаточно длинных временных рядов и наблюдений за событиями, происходящими внутри вулканической построй-

ки во время извержений или в предэруптивный период.

Цель представленной работы — исследование связи числа вулканотектонических землетрясений с уровнем приливных нагрузок для Авачинского вулкана за шестилетний период наблюдений. Авачинский вулкан расположен в ряду группы вулканов на юго-востоке Камчатки. Высота вулкана — 2751 м, тип — Сомма-Везувий. Геофизические работы, выполненные в районе Авачинской группы вулканов, позволили локализовать основной очаг питания на глубине 30–45 км, периферический — на глубине 1–6 км [Балеста и др., 1988; Зубин и др., 1989; Действующие ..., 1991].

Использованные данные

В целях исследования из каталога землетрясений КФ ФИЦ ЕГС РАН [Каталог ..., 2022; Chebrov *et al.*, 2013; Чеброва и др., 2020] выбраны события, для которых выполнялись условия: класс события — больше 3.8; расстояние от центра Авачинского вулкана — меньше 5 км; глубина — до 6 км (т.е. в области расположения верхнего периферического очага питания вулкана). Всего использовались данные о 207 событиях за 2014–2020 гг.

Непосредственно на вулкане нет станции с прибором, способным записывать движения грунта на частотах лунно-солнечных приливов. В 30 км от Авачинского вулкана расположена станция «Институт» (IVS), оснащённая сейсмометром CMG-3TB [Seismometers, 2022], каналы смещения масс которого позволяют регистрировать низкочастотные сигналы [Шевченко, 2019]. Расстояние между станцией IVS и Авачинским вулканом около 30 км. Фаза прилива от станции IVS до вулкана переместится менее чем за 2 мин, при этом характерные периоды основных максимумов значений спектра приливной волны около 24 и 12 часов, что позволяет при исследовании наведённой на вулкане сейсмичности использовать записи станции IVS. Для обработки сейсмограмм применялась программа «DIMAS» [Droznin, Droznina, 2011].

Результаты обработки

На рис. 1б показан пример записи вертикальной компоненты канала смещения массы сейсмометра 3TB-smz сейсмической станции IVS в сентябре 2018 г. (после устранения дрейфа и низкочастотной фильтрации). Смещение массы маятника можно рассматривать как суммарную реакцию на изменение силы тяжести и наклон грунта, связанный с деформациями, вызванными земным и морским солнечно-лунным приливом. Как видно на представленной записи, смещение массы маятника сейсмометра следует за расчётным морским приливом (рис. 1а). Для расчёта морского прилива использовалась программа tides [Tides ..., 2022]. Алгоритм расчёта tides основан на интерполяции рядом Фурье таблиц данных о морских приливах, построенным по результатам многолетних наблюдений.

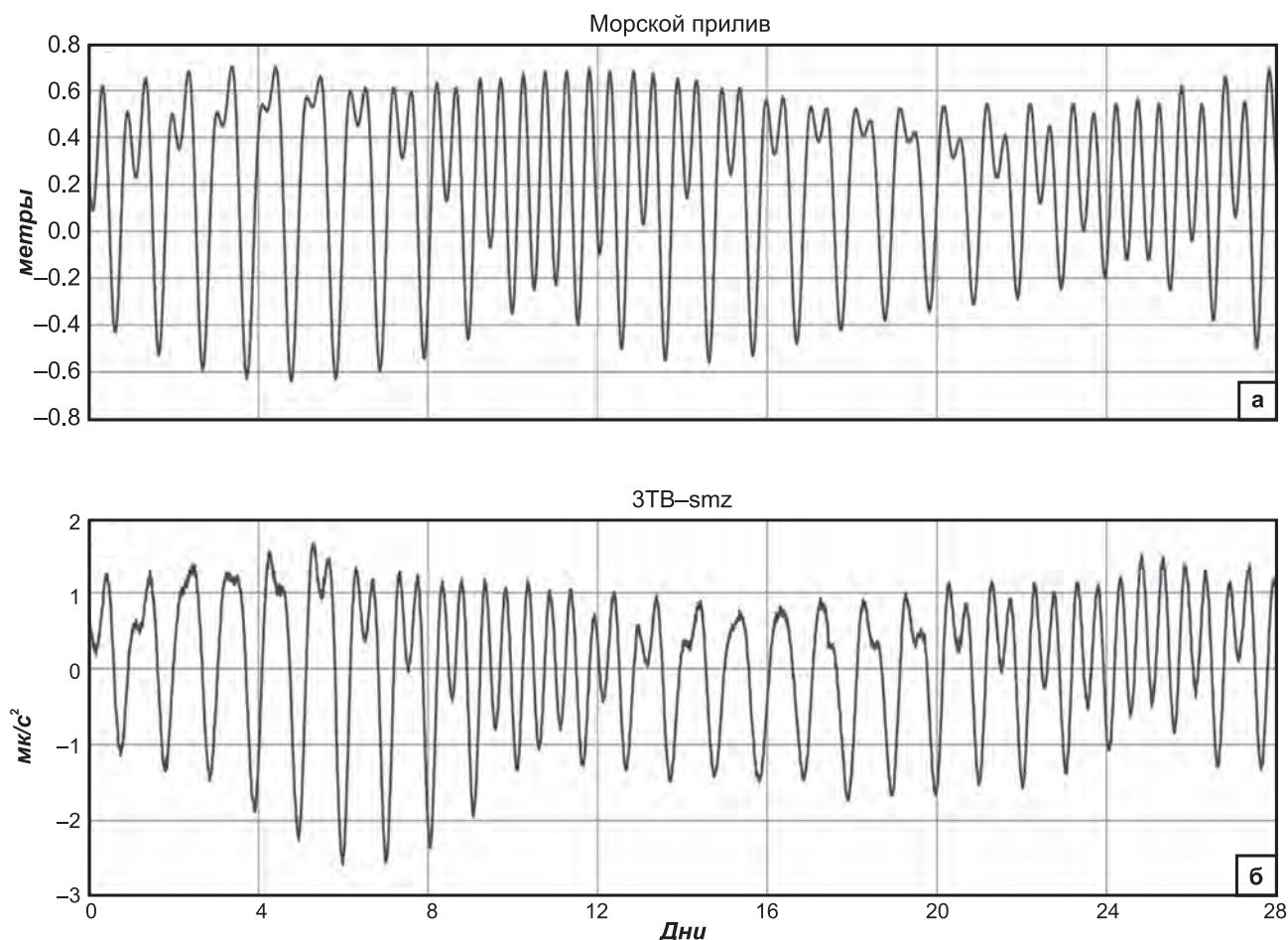


Рис. 1: а – расчётный морской прилив в г. Петропавловске-Камчатском;
б – запись вертикальной компоненты канала смещения масс сейсмометра CMG-3TB сейсмической станции «Институт» (IVS)

На рис. 2а и 2б представлены спектры мощности, соответствующие записям на рис. 1. Стрелками на рис. 2а отмечены главные гармоники морского прилива [Хабитов и др., 2017].

Взаимная корреляционная функция на рис. 3 демонстрирует сильную корреляцию между записями на рис. 1 при запаздывании сигнала сейсмометра на 3.2 часа.

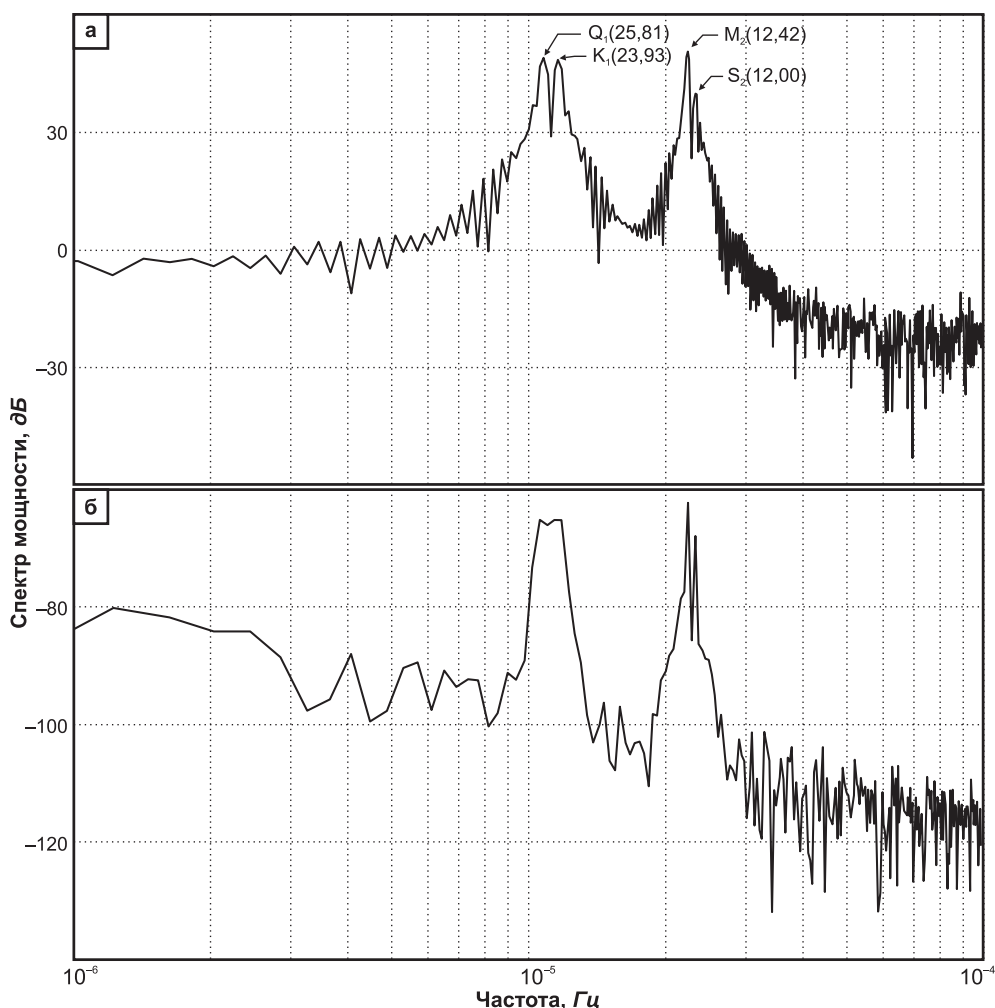


Рис. 2. Спектры мощности, соответствующие записям на рис. 1: а – морскому приливу; б – каналу смещения масс. Стрелками отмечены главные гармоники морского прилива

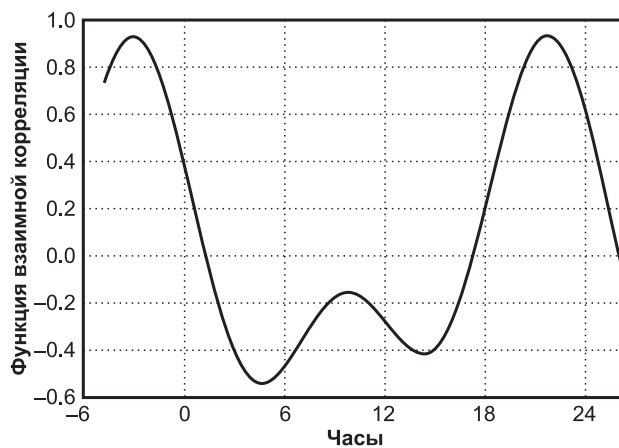


Рис. 3. Взаимная корреляционная функция между записями на рис. 1

Влияние приливов на сейсмичность оценивалось по распределению числа событий в зависимости от уровня сигнала канала smz сейсмометра в момент землетрясения. Если влияние присутствует, то события будут ранжированы по диапазону сигнала канала смещения массы неравномерно. Перед сортировкой уровень сигнала канала ЗТВ-smz (L) в момент землетрясения нормировался с использованием значений максимума (L_{\max}) и минимума (L_{\min}) сигнала сейсмометра за соответствующие сутки: $L_n = (L - L_{\text{off}}) / L_{\text{ppa}}$, где L_n – нормированный уровень, $L_{\text{off}} = (L_{\max} + L_{\min}) / 2$ – смещение нуля, $L_{\text{ppa}} = (L_{\max} - L_{\min}) / 2$ – амплитуда. После нормировки значение уровня было в интервале от 1 до -1 , и чем ближе значение L_n к 1 (или к -1), тем ближе момент землетрясения к максимуму (или минимуму) прилива за эти сутки. На рис. 4а показано распределение событий в зависимости от уровня L_n . Рис. 4б демонстрирует распределение событий в зависимости от времени (UTC) суток.

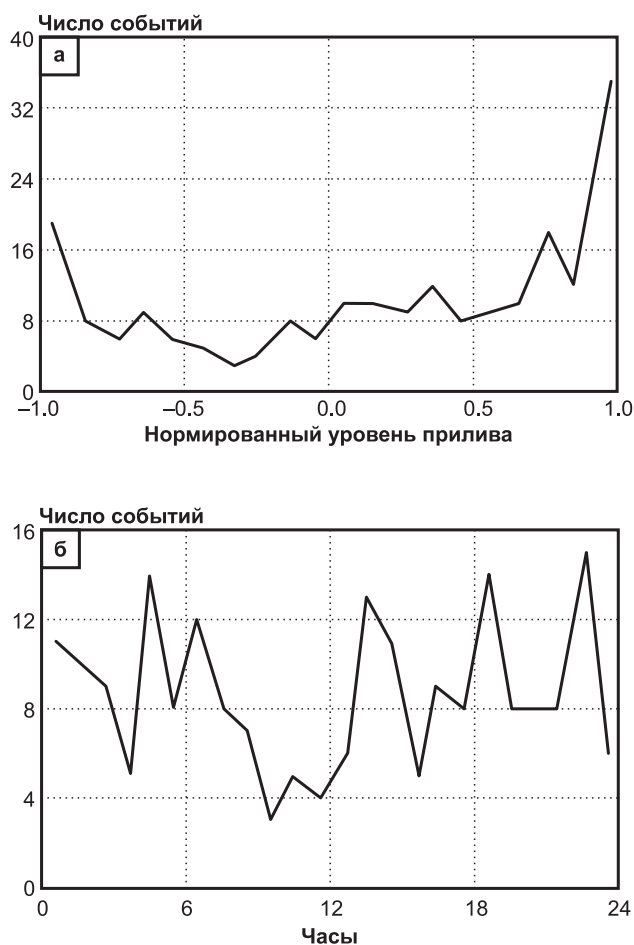


Рис. 4. Распределение землетрясений в зависимости:

- а – от уровня сигнала канала смещения массы;
б – от времени (UTC) суток

Выводы

Приведённые результаты демонстрируют возрастание интенсивности потока вулканических землетрясений с ростом уровня прилива и отлива, при этом количество событий при максимуме прилива почти вдвое больше, чем при максимальном отливе. Распределение количества землетрясений по времени суток (рис. 4б) не показывает заметной зависимости.

Предлагается следующее объяснение данного явления. Вязкая магма в очаге питания вулкана реагирует на изменение силы тяжести и деформацию коры при воздействии приливных нагрузок как жидкость, что приводит к изменению избыточного давления [Слезин, 1998; Федотов, 2006] на вмещающие периферический очаг холодные, жёсткие толщи пород. Если избыточное давление уже на пределе прочности окружающих пород, небольшие вариации величины давления способны вызывать гидроразрыв и образование трещины [Федотов, 1982]. Особенно сильно триггерный эффект прилива должен проявляться в объёмах среды, характеризующихся развитыми дефектами структуры, характерными для вулканогенно-осадочных комплексов, в которых обычно расположен полностью или частично верхний периферический очаг [Балеста и др., 1988; Зубин и др., 1989; Действующие ..., 1991].

Можно предположить, что рост избыточного давления в магматической камере в предэруптивный период усилит триггерный эффект приливов на вулканотектоническую сейсмичность вокруг периферического очага магмы.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01271-23) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://skp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Литература

- Балеста С.Е., Гонтовая Л.И., Каргапольцев А.А., Пушкарев В.Г., Сенюков С.Л. Сейсмическая модель Авачинского вулкана (по данным КМПВ-ГСЗ) // Вулканология и сейсмология. – 1988. – № 2. – С. 43–55.
- Действующие вулканы Камчатки. В 2-х т. Т. 1 / Отв. ред. С.А. Федотов, Ю.П. Масуренков. – М.: Наука, 1991. – 304 с.

- Зубин М.И., Козырев А.И. Гравитационная модель строения Авачинского вулкана (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. – 1989. – № 1. – С. 81–94.
- Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов (1962 г. – наст. вр.) // Единая информационная система сейсмологических данных КФ ФИЦ ЕГС РАН [Электронный ресурс]. – [Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2022]. – URL: <http://sdis.emsd.ru/info/earthquakes/catalogue.php>
- Слезин Ю.Б. Механизм вулканических извержений (стационарная модель). – М.: Научный мир, 1998. – 127 с.
- Федотов С.А. Магматические питающие системы и механизм извержений вулканов. – М.: Наука, 2006. – 455 с.
- Федотов С.А. О внедрении даек и механизме трещинных извержений // Вулканология и сейсмология. – 1982. – № 5. – С. 79–95.
- Хабитуев Д.С., Шпынев Б.Г., Татарников А.В., Щеглова Е.С. Влияние гравитационного прилива Солнца и Луны на динамику параметров атмосферы, ионосферы и океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14, № 5. – С. 321–339.
- Чеброва А.Ю., Чемарёв Е.А., Матвеев Е.А., Чебров Д.В. Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. – 2020. – Т. 21, № 3. – С. 66–91. DOI: 10.21455/gr2020.3-5. – EDN: QQHRZU
- Шевченко Ю.В. Регистрация ускорения каналом смещения масс сейсмометра ЗТВ // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. – 2019. – Т. 29, № 4. – С. 218–222. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-218-222. – EDN: NBQWFA
- Chebrov V.N., Droznin D.V., Kugaenko Yu.A., Levina V.I., Seniukov S.L., Sergeev V.A., Shevchenko Yu.V., Iashchuk V.V. The system of detailed seismological observations in Kamchatka in 2011 // Journal of Volcanology and Seismology. – 2013. – V. 7, N 1. – P. 16–36. DOI: 10.1134/S0742046313010028
- Droznin D.V., Droznina S.Y. Interactive DIMAS program for processing seismic signals // Seismic Instruments. – 2011. – V. 47, N 3. – Art.: 215. DOI: 10.3103/S0747923911030054
- Emter D. Tidal Phenomena // Lecture Notes in Earth Sciences. V. 66. – Berlin, Heidelberg: Springer, 1997. – 400 p. DOI: 10.1007/BFb0011453
- McNutt S.R., Beavan R.J. Volcanic earthquakes at Pavlof volcano correlated with the solid earth tide // Nature. – 1981. – N 294. – P. 615–618.
- Neuberg J. External modulation of volcanic activity // Geophysical Journal International. – 2000. – V. 142, N 1. – P. 232–240. DOI: 10.1046/j.1365-246x.2000.00161.x
- Seismometers. Surface seismometers and accelerometers // Guralp [Site]. – URL: <http://www.guralp.com> (дата обращения 15.03.2022).
- Tides Home Page // Arachnoid.com [Site]. – URL: <https://arachnoid.com/tides> (дата обращения 15.03.2022).
- Tolstoy M., Vernon F.L., Orcutt J.A., Wyatt F.K. The Breathing of the Seafloor: Tidal correlations of seismicity on Axial volcano // Geology. – 2002. – N 30. – P. 503–506.

Сведения об авторах

Шевченко Юрий Валентинович, начальник группы метрологии Камчатского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (КФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Петропавловск-Камчатский, Россия. E-mail: klb@emsd.ru

Яковенко Валентин Валентинович, инженер группы метрологии КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия. E-mail: valek@emsd.ru

Tidal effects in the seismicity of Avachinsky volcano

© 2023 Yu.V. Shevchenko, V.V. Yakovenko

KB GS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Received May 5, 2022

Abstract The gravitational interaction between the Earth, the Moon and the Sun is of a periodic nature, acting on a global scale and causing terrestrial and sea tides. The study of seismicity variations associated with lunisolar tides is a traditional task of seismology. The purpose of the presented study is to study the relationship between the number of volcanic earthquakes and the level of tidal loads using the example of Avachinsky volcano, located in the southeast of Kamchatka. The effect of an increase in the intensity of the flow of volcanic earthquakes with an increase in the level of the sea tide and ebb has been established. Recordings of the vertical component of the mass displacement channel of the CMG-3TB seismometer were used in the work.

Keywords Tide, volcanic earthquakes, seismometer CMG-3TB.

For citation Shevchenko, Yu.V., & Yakovenko, V.V. (2023). [Tidal effects in the seismicity of Avachinsky volcano]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 5(1), 89-95. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2023.1.06>. EDN:MEVODW

References

- Arachnoid.com. (2022). *Tides Home Page*. Retrieved from <https://arachnoid.com/tides>
- Balesta, S.E., Gontovaia, L.I., Kargapol'tsev, A.A., Pushkarev, V.G., & Seniukov, S.L. (1988). [Seismic model of Avachinsky volcano (according to KMPV-GSZ data)]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Volcanology and Seismology], 2, 43-55. (In Russ.).
- Chebrov, V.N., Droznin, D.V., Kugaenko, Yu.A., Levina, V.I., Seniukov, S.L., Sergeev, V.A., Shevchenko, Yu.V., & Iashchuk, V.V. (2013). The system of detailed seismological observations in Kamchatka in 2011. *Journal of Volcanology and Seismology*, 7(1), 16-36. DOI: [10.1134/S0742046313010028](https://doi.org/10.1134/S0742046313010028)
- Chebrova, A.Iu., Chemarev, E.A., Matveenko, E.A., & Chebrov, D.V. (2020). [Unified information system of seismological data in the Kamchatka Branch of the GS RAS: principles of organization, main elements, key functions]. *Geofizicheskie issledovaniia* [Geophysical Research], 21(3), 66-91. (In Russ.). DOI: [10.21455/gr2020.3-5](https://doi.org/10.21455/gr2020.3-5). EDN: QQRZU
- Droznin, D.V., & Droznina, S.Y. (2011). Interactive DIMAS program for processing seismic signals. *Seismic Instruments*, 47(3), 215. DOI: [10.3103/S0747923911030054](https://doi.org/10.3103/S0747923911030054)
- Earthquakes Catalogue for Kamchatka and the Commander Islands (1962-present). (2022). *Seismological Data Information System KB GS RAS*. Retrieved from <http://sdis.emsd.ru/info/earthquakes/catalogue.php>
- Emter, D. (1997). Tidal Phenomena. In *Lecture Notes in Earth Sciences, Vol. 66*. Springer Berlin, Heidelberg, 400 p. DOI: [10.1007/BFb0011453](https://doi.org/10.1007/BFb0011453)
- Fedotov, S.A. (1982). [On the intrusion of dikes and the mechanism of fissure eruptions]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Volcanology and Seismology], 5, 79-95. (In Russ.).
- Fedotov, S.A. (2006). *Magmatichekieskie pitaiushchie sistemy i mekhanizm izverzhenii vulkanov* [Magmatic Feeding Systems and the Mechanism of Volcanic Eruptions]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 455 p. (In Russ.).
- Fedotov, S.A., & Masurenkov, Iu.P. (eds.). (1991). *Deistvuiushchie vulkany Kamchatki. V 2-kh t. T. 1* [Active volcanoes of Kamchatka. Vol. 1]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 304 p. (In Russ.).
- Guralp. (2022). *Seismometers. Surface seismometers and accelerometers*. Retrieved from <http://www.guralp.com>
- Khabituev, D.S., Shpynev, B.G., Tatarnikov, A.V., & Shcheglova, E.S. (2017). [Influence of the gravitational tide of the Sun and the Moon on the dynamics of the parameters of the atmosphere, ionosphere and ocean.]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 14(5), 321-339. (In Russ.).
- McNutt, S.R., & Beavan, R.J. (1981). Volcanic earthquakes at Pavlof volcano correlated with the solid earth tide. *Nature*, 294, 615-618.
- Neuberg, J. (2000). External modulation of volcanic activity. *Geophysical Journal International*, 142(1), 232-240. DOI: [10.1046/j.1365-246x.2000.00161.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2000.00161.x)

- Shevchenko, Yu.V. (2019). [Registration of acceleration by the mass displacement channel of the 3TB seismometer]. *Vestnik KRAUNTs. Fiziko-matematicheskie nauki* [Bulletin KRAESC. Physical and Mathematical Sciences], 29(4), 218-222. (In Russ.). DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-218-222. EDN: NBQWFA
- Slezin, Yu.B. (1998). *Mekhanizm vulkanicheskikh izverzhenii (statsionarnaia model)* [Mechanism of volcanic eruptions (stationary model)]. Moscow, Russia: Nauchnyi Mir Publ., 127 p. (In Russ.).
- Tolstoy, M., Vernon, F.L., Orcutt, J.A., & Wyatt, F.K. (2002). The Breathing of the Seafloor: Tidal correlations of seismicity on Axial volcano. *Geology*, 30, 503-506.
- Zubin, M.I., & Kozyrev, A.I. (1989). [Gravity model of the structure of Avachinsky volcano (Kamchatka)]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Volcanology and Seismology], 1, 81-94. (In Russ.).

Information about authors

Shevchenko Yuri Valentinovich, Head of the Metrology Group of the Kamchatka Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (KB GS RAS), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. E-mail: klb@emsd.ru

Yakovenko Valentin Valentinovich, Engineer of the Metrology Group of the KB GS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. E-mail: valek@emsd.ru