

## Mid-term earthquake prediction using the LURR method on Sakhalin: a summary of retrospective studies for 1997–2019 and new approaches

Aleksander S. Zakupin\*, Nataliya V. Boginskaya

Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

\*E-mail: [a.zakupin@imgg.ru](mailto:a.zakupin@imgg.ru)

Full text [PDF](#) [RUS](#)

**Abstract.** The work presents the results of a retrospective analysis of the seismicity of Sakhalin using the LURR method of mid-term earthquake prediction for 1997–2019. All previously performed computations are reduced to a single database of seismological data (catalog) of Sakhalin branch of the FRC “United Geophysical Survey of RAS”. New computations have been carried out, while the processing settings and methods of the results interpretation are completely preserved. 119 computational samples were processed on the territory of the island, 36 of which were found to be appropriate for a retrospective forecast. 15 alarm periods were obtained, which geographically represent all zones of moderate and strong earthquakes generation on Sakhalin. As a result, 17 out of 19 earthquakes with  $M \geq 5$  were in the areas with anomalies during the alarm periods not exceeding three years. Of the 15 periods 4 turned to be false, i.e. 75 % of the alarms predicted 89 % of the earthquakes.

**Keywords:**

**seismicity, seismic events, LURR method, earthquakes catalog, anomaly**

## Среднесрочные прогнозы землетрясений методом LURR на Сахалине: обобщение ретроспективных исследований за 1997–2019 гг. и новые подходы

A. С. Закупин\*, Н. В. Богинская

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

\*E-mail: [a.zakupin@imgg.ru](mailto:a.zakupin@imgg.ru)

**Резюме.** Представлены результаты ретроспективного анализа сейсмичности Сахалина методом среднесрочного прогноза землетрясений LURR за 1997–2019 гг. Все ранее проведенные расчеты приведены к единой базе сейсмологических данных (каталогу) Сахалинского филиала ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН». Проведены новые расчеты, при этом настройки обработки и методики по интерпретации результатов полностью сохранены. На территории острова обработаны 119 расчетных выборок, 36 из которых оказались применимы для ретроспективного прогноза. Получены 15 тревожных периодов, которые территориально представляют все зоны генерации умеренных и сильных землетрясений на Сахалине. В результате 17 землетрясений из 19 с  $M \geq 5$  оказались в зонах с аномалиями в периоды тревоги, не превышающие трех лет. Из 15 периодов 4 оказались ложными, т.е. 75 % тревог дали прогноз для 89 % землетрясений.

**Ключевые слова**

**сейсмичность, сейсмические события, метод LURR, каталог землетрясений, аномалия**

**For citation:** A.S. Zakupin, N.V. Boginskaya. 2021. Mid-term earthquake prediction using the LURR method on Sakhalin: a summary of retrospective studies for 1997–2019 and new approaches. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*. Article first published online 20 Jan 2021. *PREPRINTS.RU*. <https://doi.org/10.24108/preprints-3112169>

**Для цитирования:** А.С. Закупин, Н.В. Богинская. 2021. Среднесрочные прогнозы землетрясений методом LURR на Сахалине: обобщение ретроспективных исследований за 1997–2019 гг. и новые подходы. *Геосистемы переходных зон*. Статья впервые опубликована online 20 января 2021. *PREPRINTS.RU*. <https://doi.org/10.24108/preprints-3112169>

## References

1. Bobkov A.O., Kuznetsova V.N., Nagornykh T.V., Rudik M.I. **1989**. [Principles of formation and composition of algorithmic support of the regional center of the seismological observation processing (by the example of Far East)]. In: *Seismologicheskie nablyudeniya na Dal'nem Vostoke SSSR: (Metodicheskie raboty ESSN) [Seismological observations in the Soviet Far East (Methodological works of ESSN)]*. Moscow: Nauka, p. 32–51.
2. Gusev A.A. **1974**. [Earthquakes prediction by the seismicity statistics]. In: *Seismichnost' i seismicheskii prognoz, svoystva verkhnei mantii i ikh svyaz' s vulkanizmom na Kamchatke [Seismicity and seismic prediction, properties of the upper mantle and their relation to volcanism in Kamchatka]*. Novosibirsk: Nauka, 109–119. (In Russ.).
3. Zakupin A.S. **2016**. Program complex for the analysis of instability of seismic process. *Geoinformatika*, 1: 34–43. (In Russ.).
4. Zakupin A.S., Semenova E.P. **2018**. Study of the process of preparation of strong earthquakes ( $M_w > 5$ ) on Sakhalin using the LURR method. *Bulletin KRASEC. Physical and Mathematical Sciences*, 5: 83–98. <https://doi.org/10.18454/2079-6641-2018-25-5-83-98>
5. Zakupin A.S., Levin Yu.N., Boginskaya N.V., Zherdeva O.A. **2018**. Development of medium-term prediction methods: A case study of the August 14, 2016 Onor ( $M = 5.8$ ) earthquake on Sakhalin. *Russian Geology and Geophysics*, 59(11): 1526–1532. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.10.012>

6. Zakupin A.S., Boginskaya N.V. **2020**. Mid-term assessments of the seismic hazard on Sakhalin Island by the LURR method: new results. *Geosistemy perekhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 4(2): 160–177. <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.2.160-168.169-177> (In Russ. & Engl.)
7. Zakupin A.S., Bogomolov L.M., Boginskaya N.V. **2020**. Using the Load/Unload Response Ratio and Self-Developing Processes Methods of analyzing seismic sequences to predict earthquakes in Sakhalin. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 56(7): 693–705. <https://doi.org/10.1134/S0001433820070105>
8. Kondorskaya N.V., Aranovich Z.I., Solov'yeva O.N., Shebalin N.V. **1982**. *Instruktsiya o poryadke proizvodstva i obrabotki nablyudeniy na seismicheskikh stantsiyakh Yedinoi sistemy seismicheskikh nablyudeniy SSSR* [Guidelines on the procedure of monitoring and observations processing at seismic stations of the USSR United system for seismic observations]. Moscow: Nauka, 272 p.
9. Kononov A.V., Sychev A.S. **2014**. A calibration curve of local magnitude and intermagnitude relations for northern Sakhalin. *J. of Volcanology and Seismology*, 8(6): 390–400.
10. Krayeva N.V. **1997**. Issledovaniye seysmichnosti na yuge Sakhalina v 1992–1996 gg. po dannym IRIS-2. In: *Geodinamika tektonosfery zony sochleneniya Tikhogo okeana s Evraziei = Geodynamics of tectonosphere of the Pacific-Eurasia conjunction zone*. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG DVO RAN [IMGIG FEB RAS], vol. 5: 149–162. (In Russ.)
11. Poplavskaya L.N. (ed.) **2006**. [Regional catalog of Sakhalin Island earthquakes, 1905–2005]. Authors: Poplavskaya L.N., Ivashchenko A.I., Oskorbin L.S., Nagornyykh T.V., Permikin Yu.Yu., Poplavskii A.A., Fokina T.A., Kim Ch.U., Kraeva N.V., Rudik M.I. et al. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG DVO RAN, 103 p. (In Russ.)
12. Rautian T.G. **1960a**. Zatokhaniye seysmicheskikh voln i energiya zemletryaseniya [Seismic waves attenuation and earthquakes energy]. *Tруды Таджикского института сейсмостойкого строительства и сейсмологии* [Proceedings of the Tajik Institute of Earthquake Engineering and Seismology], 7: 41–86.
13. Rautian T.G. **1960b**. [The energy of earthquakes]. In: *Methody detal'nogo izycheniya seysmichnosti* [Methods for a detailed study of seismicity]. Moscow: Izd-vo AN SSSR [Publ. Academy of Sciences of the USSR], 176: 75–114. (In Russ.)
14. Solov'yev S.L., Solov'yeva O.N. **1967**. [The relationship between the energy class and magnitude of Kuril earthquakes]. *Izvestiya RAN, Fizika Zemli*, 2: 13–23.
15. Fedotov S.A. **1963**. O pogloshchenii poperechnykh seysmicheskikh voln v verkhnem mantii i energeticheskoy klassifikatsii blizkikh zemletryaseniya s promezhutochnoy glubinoi ochaga [On the transverse seismic waves absorption in the upper mantle and energy classification of close earthquakes with an intermediate source depth]. *Izvestiya AN SSSR, Ser. geofizicheskaya*, 6: 820–849.
16. Fokina T.A., Parshina I.A., Rudik M.I., Bobkov A.O., Sholokhova A.A. **2003**. Sakhalin. In: *Zemletryaseniya Severnoy Evrazii v 1997 godu* [Earthquakes of the Northern Eurasia in 1997]. Obninsk: GS RAN [GS RAS], 122–128. (In Russ.)
17. Gardner J.K., Knopoff L. **1974**. Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bull. of the Seismological Society of America*, 64(5): 1363–1367.
18. Grünthal G., Wahlström R., Stromeyer D. **2009**. The unified catalogue of earthquakes in central, northern, and northwestern Europe (CENEC) – updated and expanded to the last millennium. *J. of Seismology*, 13(4): 517–541. <https://doi.org/10.1007/s10950-008-9144-9>
19. Hanks T., Ramanori H. **1979**. A moment magnitude scale. *J. of Geophysical Research*, 84(5): 2348–2350.
20. Levin B.W., Kim C.U., Solovjev V.N. **2013**. A seismic hazard assessment and the results of detailed seismic zoning for urban territories of Sakhalin Island. *Russian J. of Pacific Geology*, 7(6): 455–464.
21. Molchan G. **1991**. Structure of optimal strategies in earthquake prediction. *Tectonophysics*, 193: 267–276.
22. Reasenber P. **1985**. Second-order moment of central California seismicity, 1969–1982. *J. of Geophysical Research*, 90(3–18): 5479–5495.
23. Richter C. **1958**. *Elementary seismology*. San Francisco, Calif., 578 p.
24. Stepanov A.A., Gavrilov A.V., Kononov A.V., Ottemöller L. **2014**. New architecture of an automated system for acquisition, storage, and processing of seismic data. *Seismic Instruments*, 1(50): 67–74. <https://doi.org/10.3103/s0747923914010083>
25. Uhrhammer R. **1986**. Characteristics of Northern and Central California seismicity. *Earthquake Notes*, 57(1): 21.
26. Yin X.C., Wang Y.C., Peng K.Y., Bai Y.L., Wang H.T., Yin X.F. **2001**. Development of a new approach to earthquake prediction: The Load/Unload Response Ratio (LURR) theory. *Pure and Applied Geophysics*, 157(11/12): 2365–2383. [https://doi.org/10.1007/978-3-0348-7695-7\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-0348-7695-7_29)
27. Yin X.C., Zhang L.P., Zhang H.H., Yin C., Wang Y., Zhang Y., Peng K., Wang H., Song Z., Yu H., Zhuang J. **2006**. LURR's twenty years and its perspective. *Pure and Applied Geophysics*, 163: 2317–2341. <https://doi.org/10.1007/s00024-006-0135-x>

## Список литературы

1. Бобков А.О., Кузнецова В.Н., Нагорных Т.В., Рудик М.И. **1989**. Принципы формирования и состав алгоритмического обеспечения регионального центра обработки сейсмологических наблюдений (на примере Дальнего Востока). В кн.: *Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке СССР: (Методические работы ЕССН)*. М.: Наука, 32–51.
2. Гусев А.А. **1974**. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности. В кн.: *Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке*. Новосибирск: Наука, 109–119.
3. Закупин А.С. **2016**. Программный комплекс для анализа неустойчивости сейсмического процесса. *Геоинформатика*, 1: 34–43.
4. Закупин А.С., Семенова Е.П. **2018**. Исследование процесса подготовки сильных землетрясений (Mw>5) на Сахалине методом LURR. *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*, 5: 83–98. <https://doi.org/10.18454/2079-6641-2018-25-5-83-98>
5. Закупин А.С., Левин Ю.Н., Богинская Н.В., Жердева О.А. **2018**. Развитие методов среднесрочного прогноза на примере Оморского землетрясения на Сахалине (Mw = 5.8, 14 августа 2016 года). *Геология и геофизика*, 11: 1904–1911. <https://doi.org/10.15372/gig20181112>
6. Закупин А.С., Богинская Н.В. **2020**. Среднесрочные оценки сейсмической опасности на о. Сахалин методом LURR: новые результаты. *Геосистемы переходных зон*, 4(2): 160–177. <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.2.160-168.169-177>
7. Закупин А.С., Богомолов Л.М., Богинская Н.В. **2020**. Последовательное применение методов анализа сейсмических последовательностей LURR и СРП для прогноза землетрясений на Сахалине. *Геофизические процессы и биосфера*, 1: 66–78. <https://doi.org/10.21455/GPB2020.1-4>
8. Кондорская Н.В., Аранович З.И., Соловьева О.Н., Шебакин Н.В. **1982**. *Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях единой системы сейсмических наблюдений СССР*. М.: Наука, 272 с.
9. Коновалов А.В., Сычев А.С. **2014**. Калибровочная функция локальной магнитуды и межмагнитудные связи для северного Сахалина. *Вулканология и сейсмология*, 6: 75–86.
10. Краева Н.В. **1997**. Исследование сейсмичности на юге Сахалина в 1992–1996 гг. по данным IRIS-2. *Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией*. Южно-Сахалинск: IMGIG DVO RAN, т. 5: 149–162.
11. Поплавская Л.Н. (ред.) **2006**. *Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005 гг.* Авторы: Поплавская Л.Н., Иващенко А.И., Оскорбин Л.С., Нагорных Т.В., Пермикин Ю.Ю., Поплавский А.А., Фокина Т.А., Ким Ч.У., Краева Н.В., Рудик М.И. и др. Южно-Сахалинск: IMGIG DVO RAN, 103 с.
12. Раутиан Т.Г. **1960a**. Затухание сейсмических волн и энергия землетрясений. *Труды Таджикского института сейсмостойкого строительства и сейсмологии*, 7: 41–86.
13. Раутиан Т.Г. **1960b**. Энергия землетрясений. В кн.: *Методы детального изучения сейсмичности*. Труды ИФЗ АН СССР, 176(9): 75–114.
14. Соловьев С.Л., Соловьева О.Н. **1967**. Соотношение между энергетическим классом и магнитудой курильских землетрясений. *Физика Земли*, 2: 13–23.
15. Федотов С.А. **1963**. О поглощении поперечных сейсмических волн в верхней мантии и энергетической классификации близких землетрясений с промежуточной глубиной очага. *Известия АН СССР, Сер. геофизическая*, 6: 820–849.

16. Фокина Т.А., Паршина И.А., Рудик М.И., Бобков А.О., Шолохова А.А. **2003**. Сахалин. В сб.: *Землетрясения Сев. Евразии в 1997 г.* Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН: 122–128.
17. Gardner J.K., Knopoff L. **1974**. Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bull. of the Seismological Society of America*, 64(5): 1363–1367.
18. Grünthal G., Wahlström R., Stromeyer D. **2009**. The unified catalogue of earthquakes in central, northern, and northwestern Europe (CENEC) – updated and expanded to the last millennium. *J. of Seismology*, 13(4): 517–541. <https://doi.org/10.1007/s10950-008-9144-9>
19. Hanks T., Ramanori H. **1979**. A moment magnitude scale. *J. of Geophysical Research*, 84(5): 2348–2350.
20. Levin B.W., Kim C.U., Solovjev V.N. **2013**. A seismic hazard assessment and the results of detailed seismic zoning for urban territories of Sakhalin Island. *Russian J. of Pacific Geology*, 7(6): 455–464.
21. Molchan G. **1991**. Structure of optimal strategies in earthquake prediction. *Tectonophysics*, 193: 267–276.
22. Reasenber P. **1985**. Second-order moment of central California seismicity, 1969–1982. *J. of Geophysical Research*, 90(3–18): 5479–5495.
23. Richter C. **1958**. *Elementary seismology*. San Francisco, Calif., 578 p.
24. Stepnov A.A., Gavrilov A.V., Konovalov A.V., Ottemöller L. **2014**. New architecture of an automated system for acquisition, storage, and processing of seismic data. *Seismic Instruments*, 1(50): 67–74. <https://doi.org/10.3103/s0747923914010083>
25. Uhrhammer R. **1986**. Characteristics of Northern and Central California seismicity. *Earthquake Notes*, 57(1): 21.
26. Yin X.C., Wang Y.C., Peng K.Y., Bai Y.L., Wang H.T., Yin X.F. **2001**. Development of a new approach to earthquake prediction: The Load/Unload Response Ratio (LURR) theory. *Pure and Applied Geophysics*, 157(11/12): 2365–2383. [https://doi.org/10.1007/978-3-0348-7695-7\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-0348-7695-7_29)
27. Yin X.C., Zhang L.P., Zhang H.H., Yin C., Wang Y., Zhang Y., Peng K., Wang H., Song Z., Yu H., Zhuang J. **2006**. LURR's twenty years and its perspective. *Pure and Applied Geophysics*, 163: 2317–2341. <https://DOI.10.1007/s00024-006-0135-x>