

© Автор, 2025 г.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Author, 2025.
Content is available under Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 550.343(571.642)

<https://doi.org/10.30730/gtr.2025.9.3.256-264><https://www.elibrary.ru/eaazgl>

Прогноз землетрясений методом LURR на Сахалине в режиме реального времени. Результаты мониторинга в 2023–2025 гг. и их оценка в связи с мегаземлетрясением на Камчатке 30.07.2025, *M* 8.8

А. С. Закупин

E-mail: dikii79@mail.ru

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

Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск, Россия

Резюме. Представлены результаты продолжающегося исследования сейсмичности Сахалина методом среднесрочного прогноза землетрясений LURR (load-unload response ratio). Результаты очередного этапа включают расчеты параметра LURR по сейсмическим данным с 2023 по 2025 г. (первый этап 2019–2022 гг.) в 36 расчетных областях. Эти области равномерно покрывают остров сеткой с шагом 0.5° по широте и долготе. В течение всего периода ежеквартально анализировалась информация о новых аномалиях в поведении параметра LURR и зонах прогноза. За 2023 – 3 квартал 2024 г. было обнаружено 24 аномалии. С учетом 11 аномалий 2022 г. их общее количество стало 35 за 2 с половиной года. Поскольку сильного землетрясения на Сахалине не произошло, естественно было предположить, что такое количество аномалий могло быть обусловлено неординарным и значимым фактором за пределами Сахалина. Таким фактором мог стать процесс подготовки мегаземлетрясения на Камчатке 30.07.2025, *M* 8.8. Для проверки этого предположения проведены расчеты параметра LURR в эпицентре землетрясения 30.07.2025, а также вдоль зоны субдукции в направлении распространения облака афтершоков. Главным результатом стало обнаружение ретроспективного предвестника за несколько месяцев до землетрясения. Кроме того, в результате анализа показано, что периоды аномальной активности LURR в период с 2022 по 2024 г. для данного района Камчатки и Сахалина совпадают.

Ключевые слова: сейсмичность, сейсмические события, мониторинг, метод LURR, аномалия параметра LURR, предвестник землетрясения

Real-time LURR earthquake forecast in Sakhalin. Results of the monitoring in 2023–2025 and their assessment in connection with the megathrust earthquake in Kamchatka on July 30, 2025, *M* 8.8

Aleksander S. Zakupin

E-mail: dikii79@mail.ru

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

Sakhalin Branch, Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract. The results of the ongoing study on the seismicity of Sakhalin using the LURR method (Load-Unload Response Ratio) of the medium-term earthquake forecast are presented. The results of the recent stage of the study included calculations of the LURR parameter based on seismic data from 2023 to 2025 (the first stage, from 2019 to 2022) in 36 calculated areas. These areas evenly cover the island with a grid with a step of 0.5 degrees in latitude and longitude. During the entire period, the information about new LURR anomalies and forecast zones was analyzed on a quarterly basis. From 2023 to 3Q 2024, 24 LURR anomalies were detected. Taking into account 11 anomalies registered in 2022,

a total of 35 anomalies were identified in 2.5 years. Since no major earthquake occurred in Sakhalin, it was reasonable to assume that such a large number of anomalies could be due to unusual and significant factors outside Sakhalin. A hypothesis has been proposed regarding the possible impact of the megathrust earthquake in Kamchatka on July 30, 2025 ($M = 8.8$), on the LURR parameter in Sakhalin. To test it, we calculated the LURR parameter at the epicenter of the earthquake on July 30, 2025, as well as along the subduction zone in the direction of the aftershock cloud. It was shown that the hypothesis is valid due to the presence of the precursor several months prior to the event. Moreover, the analysis revealed that the LURR anomalies in the period from 2022 to 2024 coincide for the part of Kamchatka, where the earthquake occurred, and Sakhalin.

Keywords: seismicity, seismic events, monitoring, LURR method, LURR anomalies, precursor of the earthquake

Для цитирования: Закупин А.С. Прогноз землетрясений методом LURR на Сахалине в режиме реального времени. Результаты мониторинга в 2023–2025 гг. и их оценка в связи с мегаземлетрясением на Камчатке 30.07.2025, M 8.8. *Геосистемы переходных зон*, 2025, т. 9, № 3, с. 256–264. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2025.9.3.256-264>; <https://www.elibrary.ru/eaazgl>

For citation: Zakupin A.S. Real-time LURR earthquake forecast in Sakhalin. Results of the monitoring in 2023–2025 and their assessment in connection with the megathrust earthquake in Kamchatka on July 30, 2025, M 8.8. *Geosistemy perednykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2025, vol. 9, No. 3, pp. 256–264. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2025.9.3.256-264>

Финансирование и благодарности

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания ИМГиГ ДВО РАН № 075-00604-25) 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://ckp-rf.ru/usu/507436/>; <http://www.gsras.ru/unu/>). Автор благодарит уважаемых рецензентов за детальный анализ работы и полезные замечания.

Funding and Acknowledgements

The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science (out within the framework of the state task of IMGG FEB RAS No. 075-00604-25) using the data obtained from a unique research facility “Seismic infrasound array for monitoring Arctic cryolithozone and continuous seismic monitoring of the Russian Federation, neighbouring territories and the world” (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>; <http://www.gsras.ru/unu/>). Author thanks the respected Reviewers for their detailed analysis of the paper and helpful comments.

Введение

Исследования сейсмичности Сахалина методом среднесрочного прогноза землетрясений методом LURR (load-unload response ratio) [5–7] в реальном времени для о. Сахалин проводятся совместно Институтом морской геологии и геофизики Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН) и Сахалинским филиалом Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (СФ ФИЦ ЕГС РАН) в рамках работы Сахалинского филиала Российского экспертного совета по чрезвычайным ситуациям (СФ РЭС). Практика проверки методов прогноза опытным путем известна и впервые была применена в ходе продолжительного эксперимента (в течение 20 лет) в Институте теории прогноза землетрясений (ИТПЗ РАН) при проверке методов $M8$ и MSc [4]. Основная цель нашего эксперимента, начатого в 2022 г., – это апробация

работы с данными в режиме реального времени (получение и анализ данных раз в квартал) и проверка качества решения процедурных вопросов по ведению прогноза от стадии утверждения до стадии завершения. Результаты первого этапа, полученные из анализа данных за период 2019–2021 гг., а также за 2022 г., были опубликованы в [3]. Этот промежуточный результат показал хорошую эффективность метода LURR: из 4 официально выданных прогнозов 3 были успешно реализованы, а четвертый на момент публикации являлся действующим (до середины 2024 г.). В 2023–2025 гг. предстояло дать оценку действующему прогнозу, а также выявлять и фиксировать новые зоны для будущих землетрясений.

При этом нельзя не учитывать, что напряженно-деформированное состояние (и, соответственно, отражающие его аномалии LURR) сахалинских линеаментов может быть связано со структурами, которые находятся в коллизии на всем протяжении границ Охотской плиты.

В 2025 г. у юго-восточного побережья Камчатки произошло землетрясение планетарного уровня (30.07.2025, $M = 8.8$). Это землетрясение стало девятым землетрясением с $M > 8$ в XXI столетии, а в статусе сильнейших входит в десятку крупнейших сейсмических событий, произошедших в мире в течение последних 125 лет. Землетрясению предшествовало около 50 форшоков с $M > 5$, включая землетрясение 20.07.2025 ($M = 7.7$). Продолжают регистрироваться множественные афтершоки, в том числе $M > 6$. Землетрясение произошло в зоне субдукции на границе Тихоокеанской и Охотской плит и для Сахалина имеет статус близкого регионального землетрясения (по расстоянию). Кроме того, Сахалин находится на стыке Охотской и Амурской плит, и если считать в любом приближении тектонические плиты целыми и жесткими объектами, то критические нагрузки на одном фланге должны каким-то образом отражаться на противоположном – где также происходит коллизия плит. Поэтому представляет интерес оценить результаты нашего локального мониторинга во взаимосвязи с периодом подготовки этого значимого сейсмического события.

Методика эксперимента

Эксперимент предполагает получение и анализ данных в оперативном (обновление раз в квартал, задержка не более месяца от текущего времени) режиме. В ходе второго этапа данный регламент соблюдался в полной мере, что отражено в протоколах СФ РЭС.

Для анализа сейсмичности Сахалина, а также юго-восточной зоны около п-ова Камчатка (где произошло землетрясение 30.07.2025) методом LURR используется оперативный каталог из базы данных Регионального информационно-обрабатывающего центра (РИОЦ) «Южно-Сахалинск», входящего в структуру СФ ФИЦ ЕГС РАН.

Методика расчетов параметра LURR, включая принципы определения расчетных зон, выявления аномалий и определения зон прогноза полностью соответствует той, которую тестировали в масштабном исследова-

нии сейсмичности Сахалина в период 1997–2019 гг. [1] и которая применялась с начала эксперимента (с 2019 г.). Основные принципы методики: достаточно плотное покрытие территории расчетными областями (это окружности радиусом в 1° , которые расположены через 0.5° ; остров, таким образом, поделен на 36 областей); фиксированные параметры математической обработки (скользящее окно в 360 дней); рабочая выборка землетрясений в области расчета в диапазоне магнитуд от 3.3 до 5); период ожидания 2 года. Определены и принципы выделения аномалий, в частности один из главных – это порог (равен 3), при превышении которого параметр выходит в область аномальных значений. Для расчета параметра LURR в районе Камчатки скользящее окно сглаживания выбиралось в два раза меньше – 180 дней. В работе [2] этот параметр определен эмпирически (на примере Южных Курильских островов) и может применяться в зонах субдукции с большим количеством землетрясений $M > 4$.

Результаты

К 2023 г., как уже было сказано ранее, в наличии имелся официально утвержденный прогноз, основанный на 10 аномалиях, которые появились с марта по август 2022 г. в северной части острова. Тогда решением Совета (протокол СФ РЭС № 3 от 14.10.2022 г.) до мая 2024 г. был объявлен среднесрочный прогноз сейсмического события с магнитудой $M \geq 5.0$ (± 0.1) для северной части о. Сахалин в границах $52.0\text{--}54.5^\circ$ с.ш., $141.5\text{--}144^\circ$ в.д.

В феврале 2023 г. аномалии параметра LURR были выявлены в пяти расчетных областях в центральной части острова, в результате чего протоколом СФ РЭС от 20.04.2023 г. был объявлен очередной (пятый от начала исследования), среднесрочный прогноз землетрясения с $M = 5\text{--}6$ для района в координатах $48\text{--}49.5^\circ$ с.ш. и $141.5\text{--}143^\circ$ в.д. до апреля 2025 г. Однако уже в мае, а затем в августе в ряде расчетных областей появились новые аномалии. Впоследствии остров «накрыло» серией аномалий (рис. 1), причем они появлялись

с такой частотой, что было принято решение больше прогнозов не оформлять. С учетом сложившейся обстановки также было принято решение упомянутый прогноз сейсмического события на севере с магнитудой $M \geq 5.0 (\pm 0.1)$ продлить до конца 2024 г.

Несмотря на то что в четвертом квартале 2024 г. и в первых двух кварталах 2025 anomalies прекратились, период с марта 2022 по сентябрь 2024 г. требует внимательного рассмотрения. Ситуация, когда anomalies волнами накрывают части острова в короткие

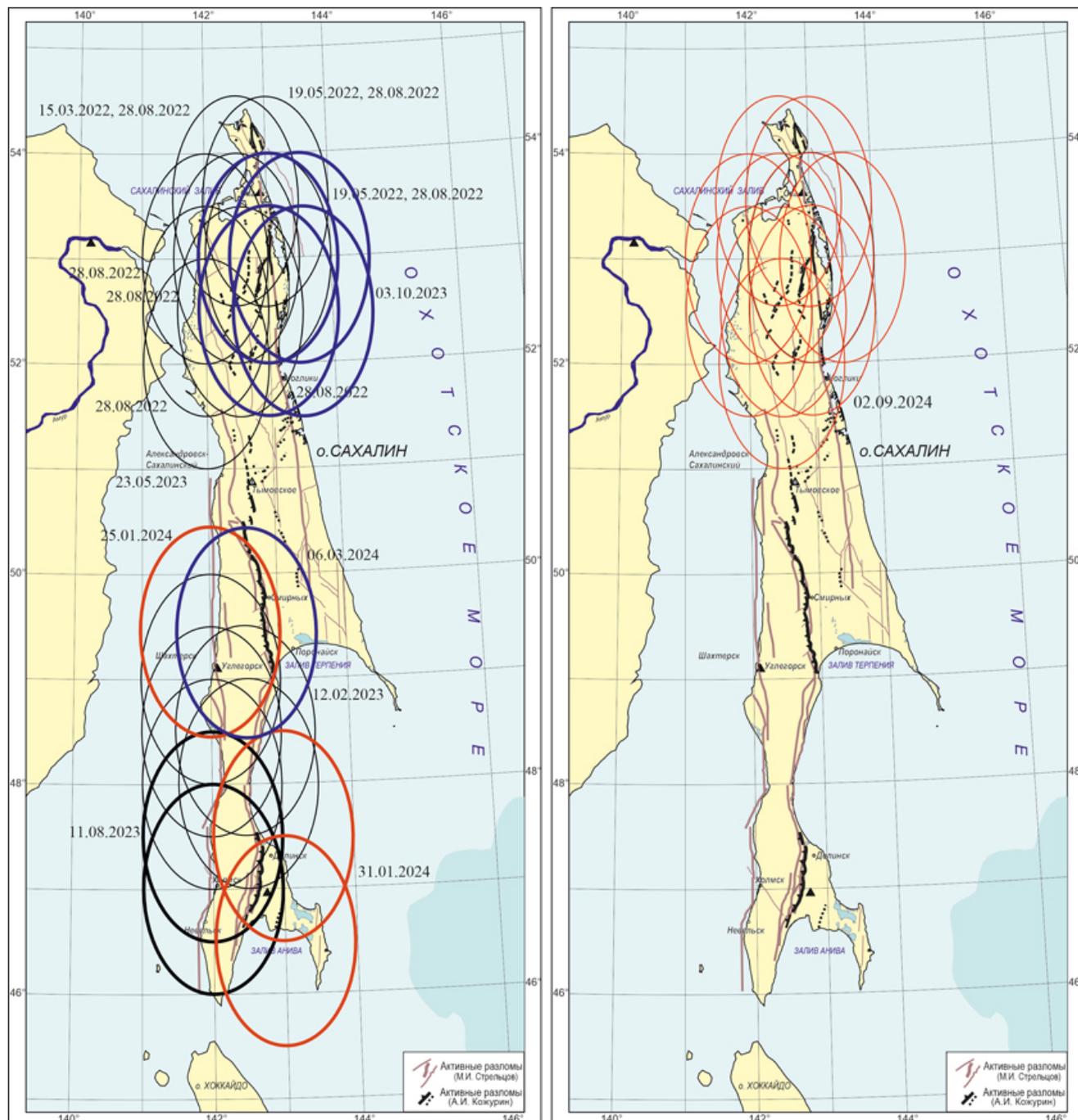


Рис. 1. Динамика распространения аномалий параметра LURR по расчетным областям с 03.2022 по 09.2024. Разными цветами показаны области расчета, в которых аномалии появлялись в периоды: серым – в 2022 и феврале 2023, черным – в августе 2023, синим – в октябре 2023 и марте 2024, красным – в январе 2024, оранжевым (на карте справа) – в сентябре 2024 г.

Fig. 1. Dynamics of the distribution of LURR parameter anomalies in the calculated areas from 03.2022 to 09.2024. The calculated areas where anomalies appeared during the following periods are shown in different colors: gray, 2022 and February 2023; black, August 2023; blue, October 2023 and March 2024; red, January 2024; and orange (map on the right), September 2024.

периоды времени, для всей истории применения метода LURR на Сахалине уникальная. Детальное исследование [1] ничего подобного за последние десятилетия не обнаружило. За 1997–2019 гг. было выявлено всего 77 аномалий, тогда как с марта 2022 г. по сентябрь 2024 г. (дата появления последних аномалий на севере острова), т.е. за 2.5 года, их было зафиксировано 35.

После такого потока аномалий LURR отсутствие их в последних трех кварталах 2025 г. видится как разгрузка, однако землетрясений с $M > 5$ на острове так и не произошло. В начале 2025 г. Совет признал несостоявшимся прогноз по северу (четвертый из 5 объявленных), а среднесрочный прогноз землетрясения с $M \geq 5.5 (\pm 0.5)$ в границах от $48.0\text{--}49.5^\circ$ с.ш. и $141.5\text{--}143^\circ$ в.д. продлил, в связи с окончанием срока тревоги (протокол от 09.04.2025 г.), до 31 января 2026 г., расширив зону до $47.0\text{--}49.5^\circ$ (протокол № 2 от 09.04.2025).

Аномалии в 2022–2024 гг. появились в таком количестве, при котором метод LURR становится бесполезным. По сути, из эксперимента по прогнозу сейсмичности острова данным методом выпадают два года. Чем можно объяснить такое аномально напряженное состояние земной коры острова и отсутствие его разгрузки в пределах островного региона? Вполне вероятно, что это обусловлено сейсмическими событиями в соседних регионах субдукционной зоны, опосредованно влияющими на напряженно-деформированное состояние на Сахалине. Например, подготовкой сильного землетрясения на Камчатке

30.07.2025, которое в сочетании с масштабной вулканической активностью уже стало одним из центральных в истории сейсмичности XXI в. В связи с этим мы провели расчеты поведения параметра LURR в области подготовки данного землетрясения.

Параметр LURR позволяет определить возможные признаки подготовки события и выявить периоды, когда напряженно-деформированное состояние в рассматриваемой области соответствует неустойчивому, околокритическому состоянию. Центры для окружностей радиусом в 1° мы располагали по диагонали (как бы двигаясь в юго-западном направлении от эпицентра землетрясения 30.07.2025 на 0.5° по широте и долготе) вдоль зоны субдукции и с максимальным охватом афтершокового облака. В таком случае 7 расчетных областей не только покрыли всю зону афтершоков, но и обеспечили небольшое перекрытие между собой. На рис. 2 приведен скриншот страницы СФ РЭС, где показаны позиции центров расчетных областей и землетрясения с 19.07.2025 по 19.08.2025 (20 июля был зарегистрирован мощный форшок $M = 7.7$). Распределение эпицентров землетрясений в данный период хорошо выделяет облако афтершоков землетрясения 30.07.25.

Центр самой северной расчетной области № 1 (52.5° N, 160.5° E) совпадает с эпицентром землетрясения 30.07.2025 (52.4° N, 160.5° E). Данные для расчетов взяты за последние 5.5 лет (с 2020 г.), что обеспечивает достаточную глубину анализа по методу LURR (время до землетрясения с момента появления пред-

Таблица. Количество землетрясений в расчетных областях с 2020 г. по 30.07.2025
Table. Number of earthquakes in the calculated areas from 2020 to July 30, 2025

Расчетная область	Координаты	Всего событий	Из них $M = 3.3\text{--}5$
1	52.5° N, 160.5° E	891	680
2	52° N, 160° E	869	635
3	51.5° N, 159.5° E	343	230
4	51° N, 159° E	260	121
5	50.5° N, 158.5° E	455	168
6	50° N, 158° E	982	463
7	49.5° N, 157.5° E	1160	547

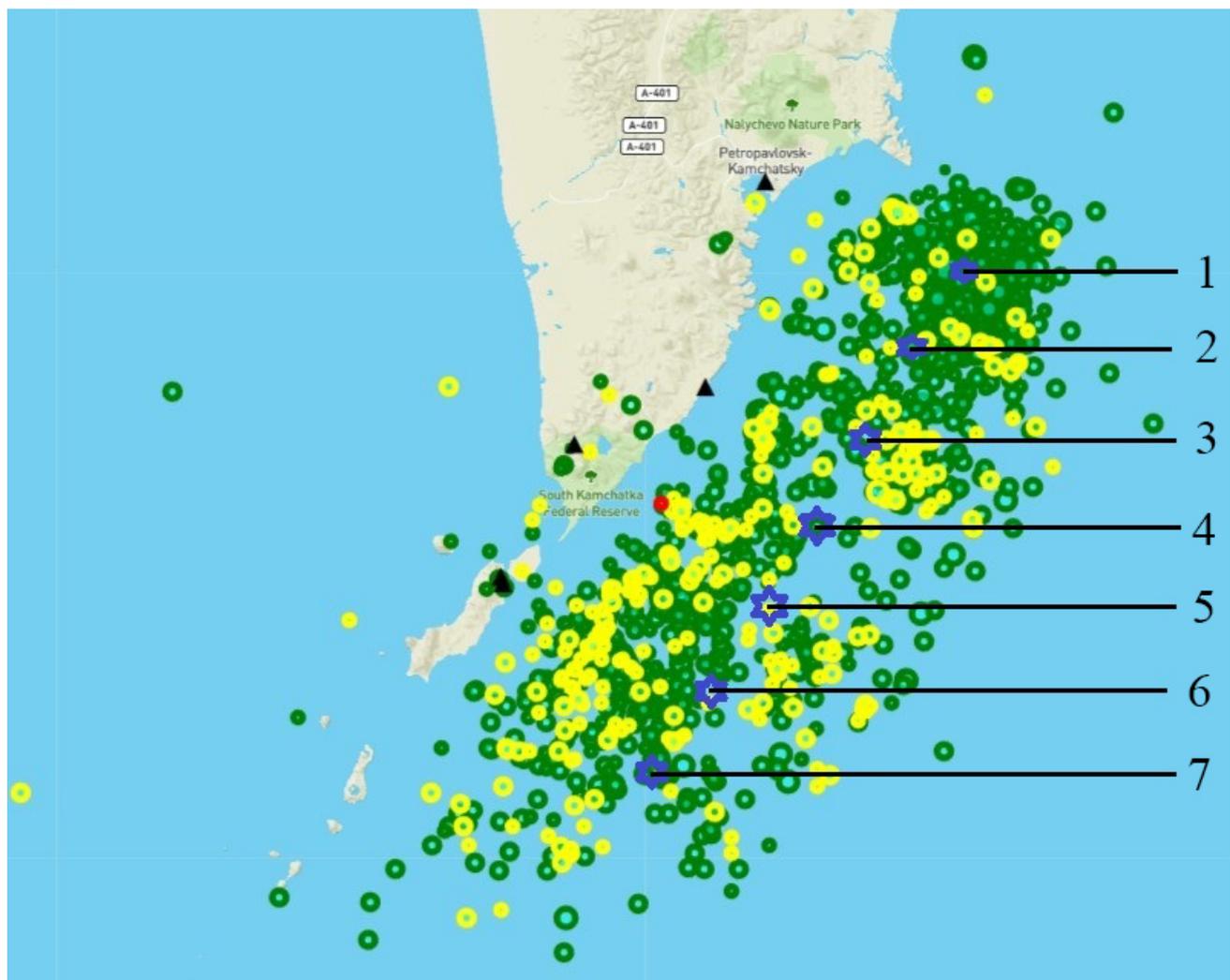


Рис. 2. Карта с официальной страницы веб-сайта СФ РЭС (<http://sakh-res.imgg.ru/realseis.htm>) с землетрясениями в юго-восточной окрестности Камчатки за период с 19.07.2025 по 19.08.2025. Кружками указаны землетрясения за месяц (зеленые), за неделю (желтые) и последнее в периоде (красный). Синие звездочки – центры расчетных областей (кругов радиусом в 1°).

Fig. 2. The map from the official website of the SF RES (<http://sakh-res.imgg.ru/realseis.htm>) with earthquakes in the southeastern part of Kamchatka from July 19, 2025, to August 19, 2025. The circles indicate the earthquakes for the month (green), for the week (yellow), and the last one in the studied period (red). The blue stars are the centers of the calculated areas (circles with a radius of 1°).

вестника до двух лет). В таблице приведены параметры рабочих выборок в семи расчетных областях за исследуемый период. На рис. 3 представлены графики изменения параметра LURR в этих областях.

Как видно из рис. 3, наиболее заметная аномалия выделена в зоне № 5 (порог превышен в феврале 2025 г.), причем за пять с половиной лет она единственная. В зонах № 1 и 7 превышений порога 3 (т.е. аномалий) не зафиксировано, а в зонах № 2, 4, 6 превышение очень незначительное. Если же принять для зоны субдукции порог равный 5, как предлагалось в работе [2], то для всех расчетных обла-

стей (рис. 3) будет выделена только аномалия в зоне № 5, которая появилась за 5 мес. до землетрясения 30.07.2025. Предвестник выделен в расчетной области, которая располагается на 200 км южнее эпицентра землетрясения, однако в пределах очага, который оконтуривается афтершоковым облаком. В любом случае это хороший результат для LURR, ведь размер области расчета сопоставим с этим расстоянием.

Примечательно, что аномалии LURR в 2022–2024 гг. на Сахалине и на Камчатке по времени совпали. На графиках в зонах № 2 и 3 хорошо видны превышения порога в 2022 и 2023 гг., причем в зоне № 3 оно значительное.

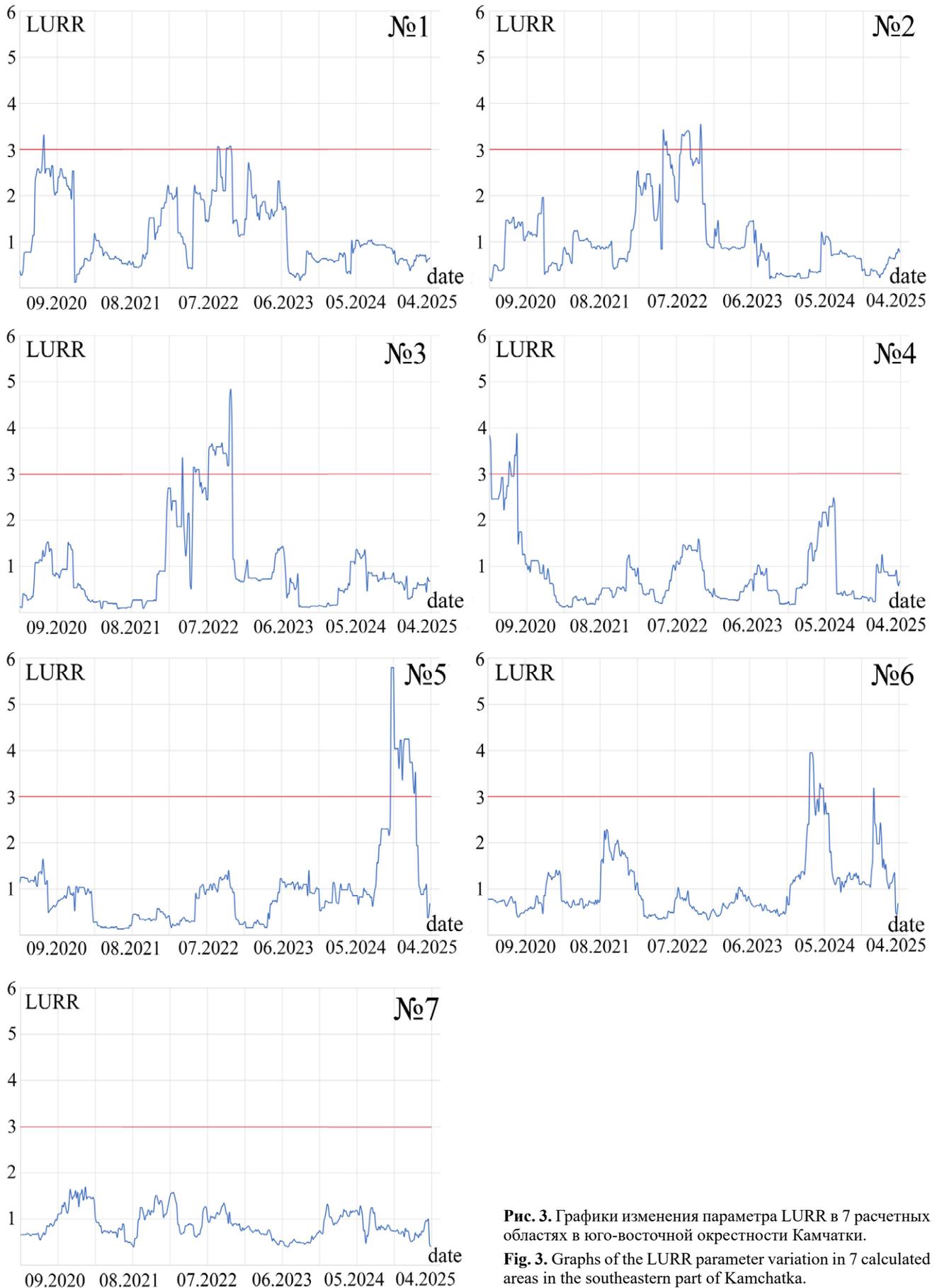


Рис. 3. Графики изменения параметра LURR в 7 расчетных областях в юго-восточной окрестности Камчатки.
Fig. 3. Graphs of the LURR parameter variation in 7 calculated areas in the southeastern part of Kamchatka.

Именно в этот период фиксируется массовое «нашествие» аномалий на Сахалине, причем часть серий даже совпадает с пиками на графиках рис. 3 (к примеру, первые аномалии на Сахалине и Камчатке появились одновременно в марте–мае 2022 г.). Можно предположить, что в состоянии неустойчивости эти два региона были какое-то время одновременно, но на Сахалине аномалии продолжались до сентября 2024 г., а на Камчатке прекратились в середине 2023 г. Вероятно, фокус критических нагрузок на границах Охотской плиты сместился в 2023–2024 гг. к Сахалину, где аномалии продолжались, в отличие от Камчатки. Однако такая ситуация была временной, о чем говорит аномалия в феврале 2025 г. в зоне № 5, после чего на Сахалине обстановка успокоилась, а на Камчатке произошло землетрясение.

Заключение

На очередном этапе эксперимента по использованию метода LURR для среднесрочного прогноза в реальном времени получены интересные результаты.

В течение марта 2022 – сентября 2024 гг. в расчетных областях фиксировались многочисленные аномалии в распределении параметра LURR (35 за два с половиной года), причем в некоторых областях за этот небольшой период аномалии были выявлены неоднократно. В такой ситуации алгоритм прогноза не может быть реализован. В этой связи СФ РЭС временно приостановил регистрацию прогнозов методом LURR.

Поскольку в работах с методом LURR для сейсмичности Сахалина ранее не отмечалось такого количества аномалий за небольшие промежутки времени, сделано предположение, что это связано с изменением напряженно-деформированной обстановки в пространственном масштабе большем, чем изучаемая зона. Источником, повлиявшим на нагрузки, оказываемые на сахалинские разломы (и, соответственно, на появление аномалий LURR), могла стать заключительная стадия подготовки землетрясения 30.07.2025, M 8.8 на юго-востоке

Камчатки. Для обоснования данного предположения проведены расчеты параметра LURR в 7 расчетных областях в районе эпицентра данного землетрясения.

В области, которая расположена на 200 км южнее от эпицентра землетрясения 30.07.2025, был выделен предвестник (аномалия LURR) в феврале 2025 г. Наряду с этим в прилегающих к эпицентру областях отмечены аномалии в 2022–2023 гг., что соответствует периоду большого количества аномалий на Сахалине. Такой результат позволяет предположить влияние подготовки Камчатского землетрясения на напряженно-деформированную обстановку в сахалинских зонах возможных очагов землетрясений.

Список литературы

1. Закупин А.С., Богинская Н.В. **2021**. Среднесрочные прогнозы землетрясений методом LURR на Сахалине: обобщение ретроспективных исследований за 1997–2019 гг. и новые подходы. *Геосистемы переходных зон*, 5(1): 27–45. <https://doi.org/10.30730/gtr.2021.5.1.027-045>
2. Закупин А.С., Андреева М.Ю. **2022**. Особенности применения метода LURR для анализа сейсмичности Южных Курильских островов. *Тихоокеанская геология*, 41(3): 37–49. doi:10.30911/0207-4028-2022-41-3-37-49; EDN FCTZIT
3. Закупин А.С., Костылева Н.В., Костылев Д.В. **2023**. От ретроспективы к системе реального времени – прогноз землетрясений методом LURR на Сахалине (2019–2022 гг.). *Геосистемы переходных зон*, 7(1): 54–74. <https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.1.054-064.064-074>; EDN KBLEXP
4. Kossobokov V.G. **2013**. Earthquake prediction: 20 years of global experiment. *Natural Hazards*, 69(2): 1155–1177. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0198-1>
5. 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 Applied Geophysics*, 163: 2317–2341. <https://doi.org/10.1007/s00024-006-0135-x>
6. Yin X., Yin C. **1991**. The precursor of instability for nonlinear system and its application to earthquake prediction. *Science in China*, 34: 977–986.
7. Yin X.C., Chen X.Zh., Song Zh.P., Yin C. **1995**. A new approach to earthquake prediction: The Load/Unload Response Ratio (LURR) theory. *Pure Applied Geophysics*, 145(3-4): 701–715. <https://doi.org/10.1007/bf00879596>

References

1. Zakupin A.S., Boginskaia N.V. **2021**. Mid-term earthquake prediction using the LURR method on Sakhalin Island: A summary of retrospective studies for 1997–2019 and new approaches. *Geosistemy perhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 5(1): 27–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.1.027-045>
2. Zakupin A.S., Andreeva M.Yu. **2022**. Application of the LURR method for studying seismicity in the Southern Kuril Islands. *Russian Journal of Pacific Geology*, 16(3): 205–217. <https://doi.org/10.1134/s1819714022030071>
3. Zakupin A.S., Kostyleva N.V., Kostylev D.V. **2023**. From retrospective to real-time system – LURR earthquake prediction on Sakhalin (2019–2022). *Geosistemy perhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 7(1): 54–74. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.1.054-064.064-074>; EDN KBLEXP
4. Kossobokov V.G. **2013**. Earthquake prediction: 20 years of global experiment. *Natural Hazards*, 69(2): 1155–1177. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0198-1>
5. 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 Applied Geophysics*, 163: 2317–2341. <https://doi.org/10.1007/s00024-006-0135-x>
6. Yin X., Yin C. **1991**. The precursor of instability for nonlinear system and its application to earthquake prediction. *Science in China*, 34: 977–986.
7. Yin X.C., Chen X.Zh., Song Zh.P., Yin C. **1995**. A new approach to earthquake prediction: The Load/Unload Response Ratio (LURR) theory. *Pure Applied Geophysics*, 145(3-4): 701–715. <https://doi.org/10.1007/bf00879596>

Об авторе

Закупин Александр Сергеевич (<https://orcid.org/0000-0003-0593-6417>), кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории сейсмологии, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск; зам. директора по научной работе, Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск, Россия, dikii79@mail.ru

Поступила 20.08.2025

Принята к публикации 28.08.2025

About the Author

Zakupin, Alexander S. (<https://orcid.org/0000-0003-0593-6417>), Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Leading Researcher at the Laboratory of seismology, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk; Deputy Director, Sakhalin Branch of the Federal Research Center of Geophysical Survey of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, dikii79@mail.ru

Received 20 August 2025

Accepted 28 August 2025