

УДК 550.343(571.642)

Оценка сейсмической опасности на юге Сахалина на 2018 год (по данным оперативного каталога)

© А. С. Закупин*, П. А. Каменев, Т. Е. Воронина, Н. В. Богинская

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

*E-mail: a.zakupin@imgg.ru

Для оценки сейсмической опасности южной части о. Сахалин в период 2018 г. использована методика прогноза сильных землетрясений, базирующаяся на анализе отношения сейсмичности при увеличении приливных напряжений (нагрузка) к сейсмичности на фазе их уменьшения (разгрузка), – критерий LURR (load/unload response ratio). На основе анализа сейсмических каталогов предложен способ обнаружения завершающей стадии подготовки сильного ($M \geq 5$) землетрясения в южной части Сахалинского региона и прогнозирования момента его возникновения.

Ключевые слова: каталог землетрясений Сахалина, слабые и сильные сейсмические события, метод среднесрочного прогноза LURR, разлом.

doi: 10.30730/2541-8912.2018.2.1.052-056

The estimation of seismic hazard in south part of Sakhalin for 2018 year (based on preliminary catalog)

Alexander S. Zakupin, Pavel A. Kamenev, Tatyana E. Voronina, Natalya V. Boginskaya

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

E-mail: a.zakupin@imgg.ru

The LURR (load/unload response ratio) method of strong earthquakes predictions is taken into consideration to estimate the seismic hazard in south part of Sakhalin in 2018. This method is based on the analysis of preliminary seismic catalogues to reveal change in the ratio of number of seismic events occurring during load and unload phases of the tidal wave in the crust. Using LURR criterion we have made attempt to found a final stage of preparedness of a strong earthquake ($M \geq 5$) in the southern part of Sakhalin region, and to predict the occurrence time of the event.

Keywords: Sakhalin earthquakes catalog, weak and strong seismic events, LURR method for mid-term predictions, fault.

Введение

В последнее время для сейсмически активной территории, которой является Сахалинская область, потребность в решении задач, связанных с оценкой сейсмической опасности, значительно возросла. Сейсмичность Сахалина принято считать умеренно-сильной. На протяжении истории сейсмических наблюдений здесь фиксировались сильные землетрясения (Монеронское 1971 г., Нефтегорское 1995 г., Углегорское 2000 г., Невельское 2007 г.), а также множество других, вызывавших значительные разрушения. Территория южного Сахалина характеризуется преимущественно умеренной сейсмической активностью. Мелкофокусная сейсмичность

сосредоточена в сейсмоактивном слое земной коры (на глубинах до 30 км) [Поплавская и др., 2006]. В среднем за год здесь происходит примерно 6 событий с магнитудой $M \geq 4.0$ и одно событие с $M \geq 5.0$. Повторяемость землетрясений с магнитудой $M \geq 6.0$ составляет около 10 лет.

Изучение сейсмической активности, как показали события последних лет, является очень актуальным, так как не только помогает лучше представить картину сейсмичности территории, но и дает возможность предсказать сильные землетрясения. Особенно важно изучение сейсмичности южной части Сахалина, где плотность населения самая большая, а населенные пункты, в том числе областной

центр Южно-Сахалинск, расположены вблизи активных разломов.

Успешные сейсмические прогнозы для территории южного Сахалина были реализованы сотрудниками Института морской геологии и геофизики (ИМГиГ) ДВО РАН на основе различных подходов.

В работах [Тихонов, 2009; Tikhonov, Kim, 2010; и др.] при создании долгосрочного прогноза существенную роль сыграли так называемые сейсмические бреши (seismic gaps). Такой подход был предложен в [Моги, 1988]. Под бреши понимают участки сейсмоактивной зоны, в которых порядка ста лет не происходили сильные сейсмические события. Эти зоны рассматривают как потенциальные места для возникновения сильных землетрясений. Такая брешь была выделена на юго-западном побережье о. Сахалин и прилегающего шельфа от г. Томари до пос. Горнозаводск. Впоследствии прогноз реализовался в виде сильного землетрясения в г. Невельск 2 августа 2007 г. Кроме того, для данного сейсмического события был дан краткосрочный прогноз, который оправдался не полностью, поскольку основное землетрясение произошло на 4 мес. позже ожидаемого срока [Тихонов, 2009]. В работе [Parovichny et al., 2015] был реализован подход, основанный на измерении вариаций геофизических полей над нефтегазовой залежью, который показал возможность краткосрочного прогноза землетрясений. На основе магнитных, гравиметрических, термических, электротеллурических методов были получены данные геофизических аномалий перед сильными сейсмическими событиями. Для обнаружения завершающей стадии подготовки сильного землетрясения и прогнозирования момента его возникновения был также апробирован метод СРП (метод саморазвивающихся процессов), разработанный А.И. Малышевым (ИГиГ УрО РАН) и адаптированный к данным наблюдений в различных сейсмоактивных регионах [Тихонов, Закупин, 2016; Тихонов и др., 2017]. Данная методика позволяет строить адекватные модели сейсмического процесса на основе нелинейного дифференциального уравнения второго порядка, названного уравнением саморазвивающихся процессов. При

этом заблаговременность прогноза времени возникновения землетрясений составляет сутки – первые месяцы до главного толчка. В настоящее время в ИМГиГ ДВО РАН широко используется метод среднесрочного прогноза сейсмической опасности LURR, который был успешно апробирован как зарубежными авторами [Yin et al., 2001; Yangde et al., 2012], так и авторами настоящей статьи в различных регионах. На примере северного Сахалина, Непала и Новой Зеландии ретроспективно продемонстрирована возможность прогноза сильных сейсмических событий с задержками, не превышающими полтора года [Тихонов, Закупин, 2016; Закупин, Жердева, 2017; Закупин, Каменев, 2017].

С 2003 г. на юге Сахалина функционирует локальная сеть автоматизированных цифровых сейсмических станций. На основе данных мониторинга этой локальной сетью создан и регулярно пополняется детальный каталог землетрясений с $M \geq 2.0$ [Каталог... , 2011].

Наличие детального каталога землетрясений и разветвленной сети сейсмических станций на территории южного Сахалина позволяет проводить исследования по прогнозу сильных землетрясений с высокой степенью оперативности и качества. Цель настоящей работы – показать принципиальные возможности метода LURR на примере первого официально зарегистрированного в установленном порядке прогноза.

Методика и результаты

Подход для среднесрочной оценки сейсмической опасности LURR в некотором смысле ближе к краткосрочному прогнозу, поскольку охватывает период от нескольких месяцев до двух лет. Перевод LURR (load/unload response ratio) с английского означает отношение откликов среды на нагрузку / разгрузку. Основы методики описаны как в оригинальных зарубежных работах, приведенных выше, так и в нашей недавней работе [Закупин, Каменев, 2017].

В исследовании применялся программный комплекс Seis-ASZ, разработанный в ИМГиГ ДВО РАН [Закупин, 2016 а, б]. Этот

комплекс реализован по принципу модульной архитектуры программирования. Интерфейс комплекса, операции с файловой системой и алгоритмы расчетов реализованы на языке C++. В процессе работы над проектом использована среда разработки Borland C++Builder 6.

В наших предыдущих работах ретроспективный анализ данных по вариациям LURR дал положительные результаты по четырем землетрясениям о. Сахалин [Тихонов, Закупин, 2016; Zakupin, 2017; Закупин, Жердева, 2017]: Нефтегорское (28.05.1995, $M_w = 6.9$), Пильтунское (12.06.2005, $M_w = 5.5$), Уангское (16.03.2010, $M_w = 5.3$) и Невельское (02.08.2007, $M_w = 5.6$). Полученные результаты позволили подготовить в реальном времени прогнозы землетрясений Онорского 14.08.2016 ($M_w = 5.8$) и Шебунинского 23.04.2017 ($M_w = 5.3$), которые рассматривались на заседаниях Сахалинского филиала

Российского экспертного совета по чрезвычайным ситуациям (протокол № 3 от 11.05.2016, протокол № 2 от 16.03.2017). Новые оперативные данные каталога Сахалинского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (СФ ФИЦ ЕГС РАН) были положены в основу прогноза на юге Сахалина. Рассчитывался параметр LURR; его изменение во времени при отсутствии признаков неустойчивости развития очаговых зон находится в пределах значения 1. Возникновение признака отождествляется с увеличением значения с превышением среднеквадратичного отклонения не менее чем в три раза. При этом зоны с маленькой плотностью событий не представительны и при интерпретации игнорируются (в нашем случае это все зоны, захватывающие о. Хоккайдо). В результате комплексного анализа выделен признак в достаточно локализованной зоне. Эта зона пока-

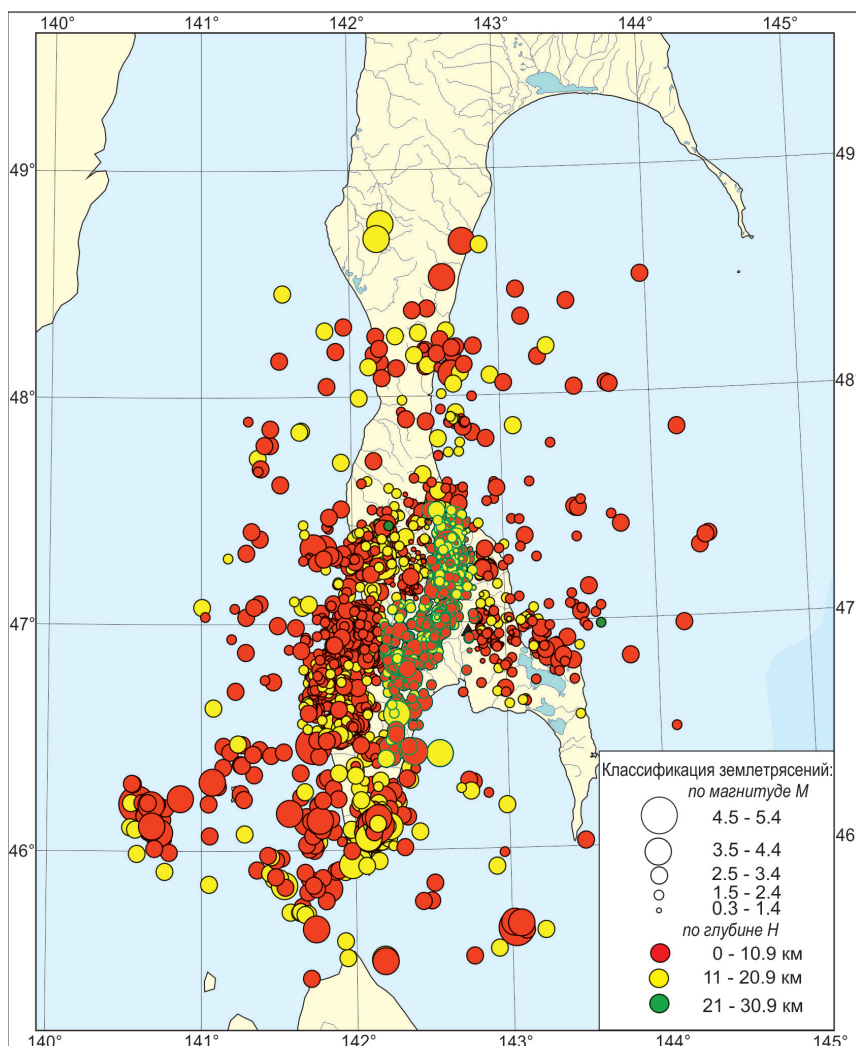


Рис. 1. Распределение сейсмических событий юга Сахалина с 2015 по 2017 г. с выделением зоны аномальных значений LURR (область, выделенная зеленым).

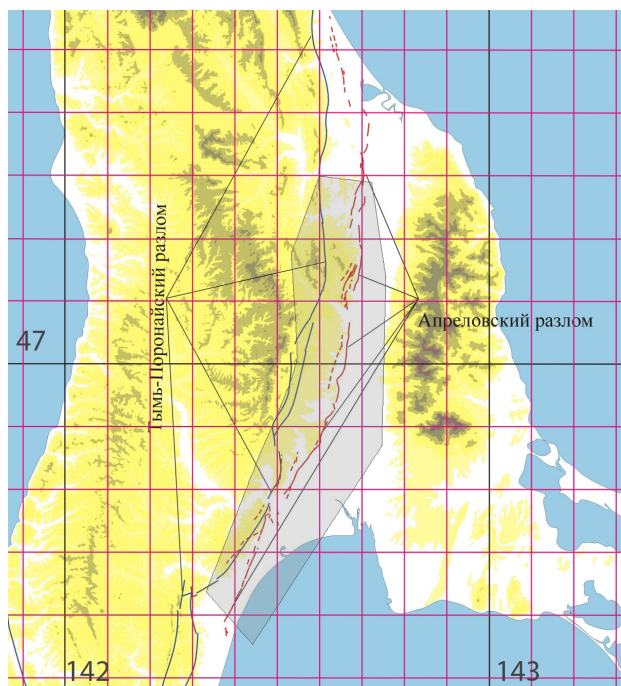


Рис. 2. Зона аномальных значений LURR с указанием основных разломов.

зана на графике распределения сейсмических событий за счет выделения попавших в нее землетрясений специальным контуром кружков (рис. 1). Геологические особенности расчетной области показаны на рис. 2. Отметим, что представительность признака в расчетной зоне высокая.

Зона локализована в районе Тынь-Поронайского (Центрально-Сахалинского) и Апрельовского разломов в пределах 46.4° – 47.4° с.ш. и 142.2° – 142.4° в.д. Потенциал в данной сейсмогенерирующей зоне (СГЗ)

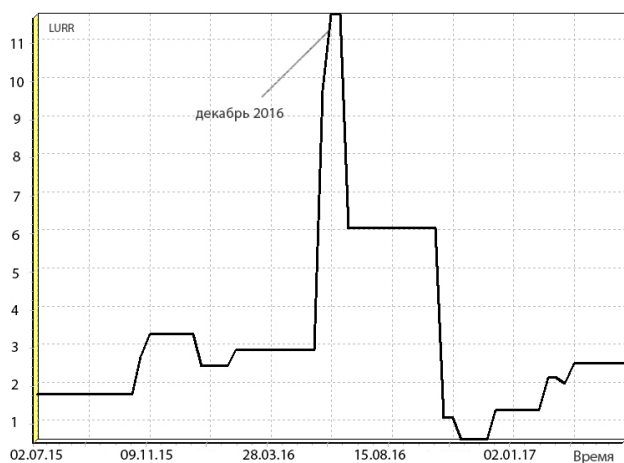


Рис. 3. Функция LURR, параметры расчета: окно 360 дней, сдвиг 30 дней, расчетная зона в пределах 46.4° – 47.4° с.ш. и 142.2° – 142.4° в.д. Расчетный период с начала 2015 г. по ноябрь 2017 г.

оценивается до $M_w = 6$, при этом оценки по методу LURR относятся к событиям выше $M_w = 5$. По графику изменения параметра во времени (рис. 3) для выделенной зоны можно оценить период ожидания события из расчета, что он начинается от момента обнаружения признака и продолжается в течение 1.5 лет.

Приведенный выше анализ оперативных данных каталога Сахалинского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» и материалов сейсмичности в районе Тынь-Поронайского (Центрально-Сахалинского) и Апрельовского разломов дает, на наш взгляд, основание для объявления прогноза сейсмической опасности на территории южного Сахалина. Данный прогноз был представлен на заседании Сахалинского филиала Российского экспертного совета (СФ РЭС) 22 декабря 2017 г. Были предложены следующие параметры прогноза: координаты – 46.4° – 47.4° с.ш. и 142.2° – 142.4° в.д.; период ожидания сейсмического события – 8 мес. от даты заседания СФ РЭС; магнитуда M_w вероятного сейсмического события может составить 5–6.

Для отслеживания реализации краткосрочного сейсмического прогноза и локализации очага возможного землетрясения предполагается развертывание систем геофизического мониторинга на территории прогнозной зоны, согласно работам [Parovishny et al., 2015; Бобровский, 2016]. Кроме того, в планах авторов установка вблизи Тынь-Поронайского (Центрально-Сахалинского) и Апрельовского разломов дополнительных сейсмических станций нового типа [Antonov et al., 2017].

Авторы признательны Ольге Андреевне Жердевой за помощь в технической подготовке статьи.

Список литературы

1. Бобровский В.С. Распределенная сеть электрических измерений в приповерхностных грунтах и некоторые полученные результаты // *Изв. Тульского гос. ун-та. Техн. науки*. 2016. № 7. С. 129–138.
2. Закупин А.С. *Seis-ASZ: свид. об официальной регистрации программы для ЭВМ*. № 2016611230. Заявл. 05.11.2015; опубл. 20.02.2016а.
3. Закупин А.С. Программный комплекс для анализа неустойчивости сейсмического процесса // *Геоинформатика*. 2016б. № 1. С. 34–43.

4. Закупин А.С., Жердева О.А. Ретроспективная оценка применимости методов среднесрочного прогнозирования землетрясений для северного Сахалина // *Вестн. ДВО РАН*. 2017. № 1. С. 18–25.
5. Закупин А.С., Каменев П.А. О возможности пространственно-временной локализации повышенной сейсмической опасности в методике среднесрочного прогноза LURR (на примере Новой Зеландии) // *Геосистемы переходных зон*. 2017. № 3. С. 40–49.
6. Каталог землетрясений юга Сахалина за период с 2000 по 2010 г. (по данным автономных цифровых сейсмических станций) / Ч.У. Ким, Е.П. Семенова, О.А. Жердева, Сен Рак Се, В.И. Михайлов, Ю.Н. Левин, И.С. Паршина, Н.А. Урбан, М. Касахара, М. Ичиянаги, Х. Такахаши. Владивосток: Дальнаука, 2011. 357 с.
7. Моги К. *Предсказание землетрясений*. М.: Мир, 1988. 382 с.
8. Поплавская Л.Н., Иващенко А.И., Оскорбин Л.С. и др. *Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005 гг.* Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. 103 с.
9. Тихонов И.Н. Прогноз сильного землетрясения на юго-западном шельфе о. Сахалин и его реализация в результате Невельского землетрясения 2 августа 2007 г. // *Тихоокеан. геология*. 2009. Т. 28, № 5. С. 22–29.
10. Тихонов И.Н., Закупин А.С. Ретроспективная оценка применимости двухэтапной схемы краткосрочного прогнозирования землетрясений ($M \geq 5$) Южного Сахалина по данным детального каталога. // *Вестн. ДВО РАН*. 2016. № 1. С. 58–67.
11. Тихонов И.Н., Михайлов В.И., Малышев А.И. Моделирование последовательностей землетрясений юга Сахалина, предвещающих сильные толчки, с целью краткосрочного прогноза времени их возникновения // *Тихоокеан. геология*. 2017. Т. 36, № 1. С. 5–14.
12. Antonov A., Shabalina A., Razin A., Avdyukhina S., Egorov I., Agafonov V. Low-frequency seismic node based on molecular-electronic transfer sensors for marine and transition zone exploration // *J. Atmospheric and Oceanic Technology*. 2017. Vol. 34(8). P. 1743–1748.
13. Parovyshny V.A., Senachin V.N., Veselov O.V., Kochergin E.V. Temporal variations in geophysical fields and earthquake forecasting issues // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2015. Vol. 6(1). P. 63–76.
14. Tikhonov I.N., Kim Ch.U. Confirmed prediction of the 2 August 2007 Mw 6.2 Nevelsk earthquake (Sakhalin Island, Russia) // *Tectonophysics*. 2010. Vol. 485(1/4). P. 85–93. doi:10.1016/j.tecto.2009.12.002.
15. Yangde F., Guoliang Ji, Wenkai C. Parallel computing for LURR of earthquake prediction // *Intern. J. Geophys.* 2012. Art. ID 567293. 3 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/567293>.
16. Yin X.C. et al. A new approach to earthquake prediction: The Load/Unload Response Ratio (LURR) theory // *Pure Appl. Geophys.* 1995. Vol. 145(3/4). P. 701–715.
17. Yin X.C., Wang Y.C., Peng K.Y., Bai Y.L., Wang H.T., Yin X.F. Development of a new approach to earthquake prediction: The Load/Unload Response Ratio (LURR) theory // *Pure Appl. Geophys.* 2001. Vol. 157(11/12). P. 2365–2383.
18. Zakupin A.S. The estimations of seismic danger of Sakhalin by LURR (Load-Unload Response Ratio) technique // *XVII Intern. Conf. on Science and Technology Russia-Korea-CIS. June 15–17, 2017. Yuzhno-Sakhalinsk*, 2017. P. 411–415.

Сведения об авторах

ЗАКУПИН Александр Сергеевич – кандидат физико-математических наук, ученый секретарь, старший научный сотрудник,
ВОРОНИНА Татьяна Евгеньевна – аспирант,
БОГИНСКАЯ Наталья Владимировна – аспирант,
лаборатория сейсмологии;
КАМЕНЕВ Павел Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник центра коллективного пользования,
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск