ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2021, том 497, № 1, с. 67–70

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.34

СИЛЬНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ НА САХАЛИНЕ 13.09.2020

© 2021 г. А. В. Коновалов[1], академик РАН А. И. Ханчук[1], А. А. Степнов[1], Ю. А. Степнова[1,*]

Поступило 30.11.2020 г.
После доработки 02.12.2020 г.
Принято к публикации 13.12.2020 г.

Исследуется сейсмотектоническая позиция сильного землетрясения, произошедшего на юге о. Сахалин 13 сентября 2020 г. Сейсмические сотрясения в 5.5 балла по шкале СП в г. Углегорск стали причиной повреждений некоторых зданий с дефицитом класса сейсмостойкости, которые уже испытывали воздействия более сильного события (Mw = 6.8) в 2000 г. Показано, что исследуемое землетрясение могло стать следствием Углегорского землетрясения 2000 г. В настоящее время Сахалинская область рассматривается в качестве пилотного региона для реализации новой федеральной программы переселения людей из ветхого и аварийного жилья. В этой связи является крайне важной предложенная методика оценки сейсмического потенциала разломных зон, где планируется строительство, с учетом постсейсмических эффектов.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмические воздействия, разлом, Кулоновское напряжение

DOI: 10.31857/S2686739721030075

13 сентября 2020 г. в 13 ч 42 мин по Гринвичу в Углегорском районе Сахалинской области произошло довольно рядовое для Сахалина землетрясение, локальная магнитуда которого составила *ML* 5. Однако оно стало причиной повреждений некоторых зданий в ближайших от эпицентра населенных пунктах и вызвало панику у жителей, ощутивших сейсмические колебания. Анализ сейсмотектонической позиции и макросейсмических проявлений представляет важный научный и практический интерес при разработке плана антисейсмических мероприятий.

В настоящем исследовании задействованы данные сейсмических станций единой сети ДВО РАН, сети сильных движений компании “Сахалин Энерджи Инвестмент Компани ЛТД”, локальной сети ООО “ГЕОФИЗТЕХ”, а также глобальной сейсмографической сети IRIS. Определение очаговых параметров главного события и его сильнейшего афтершока выполнено с помощью метода инверсии времен пробега сейсмических волн [1]. Использовались откалиброванные для условий Сахалина параметры скоростного разреза и локальной магнитуды [1]. Механизм очага главного события (в простом приближении двойной пары сил) определен по знакам 28 первых вступлений на региональных и телесейсмических вертикальных каналах при помощи апробированных раннее подходов [2].

Землетрясение произошло в пределах западной границы Хоккайдо-Сахалинской аккреционно-складчатой системы [3], которая отождествляется с зоной перехода от Азиатского континента к Тихому океану. Полученные решения механизма очага описывают преимущественно сдвиговый характер подвижки (рис. 1). Северо-западное простирание одной из нодальных плоскостей совпадает с простиранием сегмента Западно-Сахалинского активного разлома, что с учетом пространственного положения очага позволяет связать подвижку с современной активностью данного участка глубинного разлома, движение по которому происходит в условиях субширотного сжатия (рис. 1). Глубина очага землетрясения составила 7 км.

Методика оценки макросейсмической интенсивности по откликам населения через интернет, разработанная и применяемая в США [4], получила широкое распространение во всем мире за последние 20 лет [5]. Десятичное значение интернет-интенсивности, рассчитанное по ответам нескольких респондентов в пределах одной локации, дает хорошее приближение для оценки сейсмических воздействий, измеряемых в физических единицах [5].

Для оперативного сбора макросейсмической информации использовался интернет-ресурс [6], в котором опросные листы на русском языке унифицированы с системой DYFI Геологической

[1] *Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия*

**E-mail: yshabanova@gmail.com*

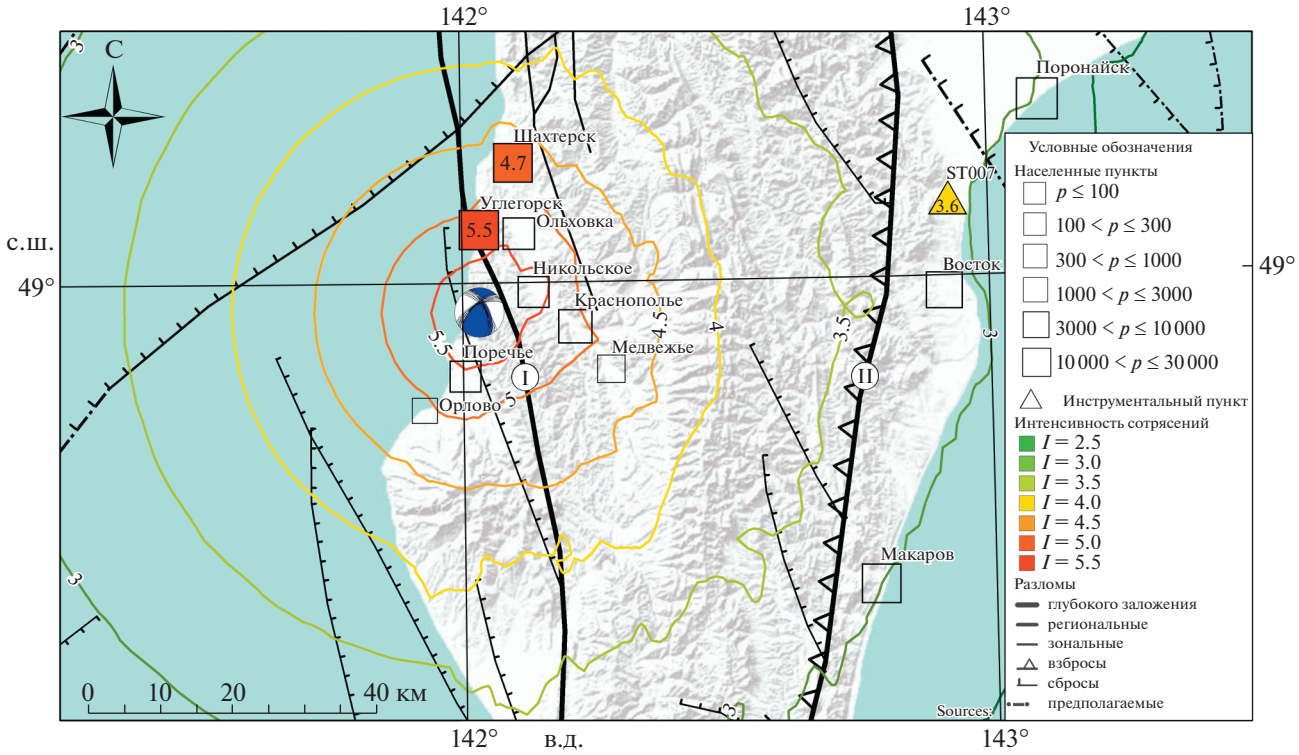

Рис. 1. Положение и механизм очага землетрясения 13.09.2020 г. (*ML* 5.0) относительно разломных зон [3] и карта сейсмических сотрясений. Глубинные разломы: I – Западно-Сахалинский, II – Центрально-Сахалинский.

службы США [4]. Ответы респондентов в каждом населенном пункте были приведены к взвешенной сумме *CWS*, которая учитывает различные индикаторы сейсмических колебаний: ощущения человека, положение предметов, видимые повреждения здания. Далее рассчитывалась групповая интернет-интенсивность *CII* с округлением до первого знака после запятой [4]:

$$CII = 3.4\ln(CWS) - 4.38. \quad (1)$$

Всего получено более 30 откликов из разных населенных пунктов (рис. 1). Отбраковывались локации, в которых имелся только один отклик. Максимальная интенсивность зарегистрирована в г. Углегорск и составила $CII = 5.5$.

В основу смоделированных карт сейсмических сотрясений положены региональный закон затухания пиковых ускорений грунта [7] и поправки за локальное усиление интенсивности колебаний в верхнем 30-метровом грунтовом слое [8], полученные по данным ГИС [9]. Измеренные и модельные значения пиковых ускорений приведены к интенсивности [10] (рис. 1).

В целом можно отметить хорошее соответствие между измеренными и модельными значениями сейсмической интенсивности (рис. 1). Моделирование также показывает, что максимальные сотрясения приходятся на населенные пункты (г. Углегорск и с. Никольское), в которых отмечены легкие повреждения жилых зданий, школ, медицинского учреждения и объектов культуры [11]. В этих зданиях местами обвалилась штукатурка, появились трещины на стенах.

Сильнейший афтершок (*ML* 4.5), сопоставимый по магнитуде с главным событием, произошел почти через 30 мин после основного землетрясения. Он ощущался жителями ближайших населенных пунктов. Интенсивность в г. Углегорск составила $CII = 4.6$ балла, в Шахтерске – $CII = 4.4$ балла.

Исследуемая территория уже испытывала сейсмические воздействия более сильного (Углегорского) землетрясения, произошедшего 4(5) августа 2000 г. (*Mw* 6.8). Массовые поверхностные проявления [12], обнаруженные в эпицентральной зоне землетрясения, образовались на месте существовавшего ранее активного разлома, неоднократные подвижки по которому происходили в позднем плейстоцене-голоцене.

Известно, что сильные землетрясения могут стать триггером сейсмической активности в соседних разломных зонах за счет изменения поля напряжений. Распределение статических напряжений и их приращений описывается теорией Кулоновского течения горных масс, согласно которой [13]:

$$\Delta CFS = \Delta\tau - \mu'\Delta\sigma_N, \quad (2)$$

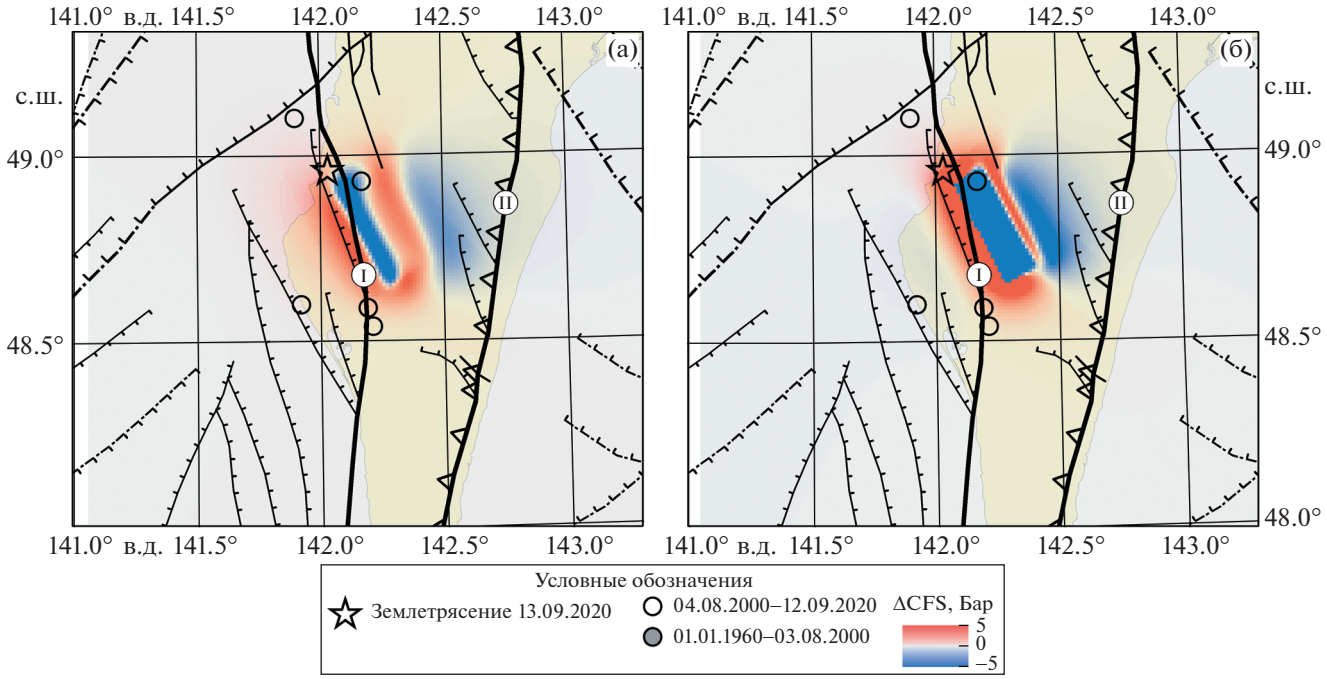

Рис. 2. Приращение критических Кулоновских напряжений на глубинах 5 (а) и 10 (б) км, инициированных Углегорским землетрясением 2000 г. (*M*w 6.8), и эпицентры землетрясений ($M \geq 5$) в исследуемой области с 1 января 1960 по 13 сентября 2020 г. Обозначение разломов приведено на рис. 1.

где CFS – критическое Кулоновское напряжение, определяющее порог разрушения; τ и σ_N – сдвиговое и эффективное нормальное напряжения соответственно, μ' – коэффициент трения; символ Δ обозначает приращение физической величины.

Положительное приращение Кулоновских напряжений (2) можно интерпретировать как приближение к порогу разрушения, в то время как отрицательное приращение как бы отодвигает момент возникновения землетрясения.

Для оценки Кулоновских напряжений, инициированных Углегорским землетрясением 2000 г., рассматривается модель очага, задаваемая плоскостью восточного падения. Восточное падение плоскости, по которой произошел взброс, наилучшим образом согласуется с геологическими и геодезическими данными [14]. Параметры модели заданы согласно двухдипольному приближению тензора сейсмического момента [15]. Расчеты произведены в программе Coulomb 3.3.01 [13] для глубин 5 и 10 км, коэффициент трения принят $\mu' = 0.4$.

Из рис. 2 видно, что с 1960 по 2000 г. в исследуемой области не зарегистрировано ни одного сейсмического события с магнитудой $M \geq 5$, в то время как с 2000 по 2020 г. здесь произошло пять событий, в том числе исследуемое землетрясение. Пространственное положение эпицентров землетрясений, произошедших с 2000 по 2020 г., коррелирует с зонами положительных приращений критических Кулоновских напряжений. Их возникновение, по всей видимости, связано с возмущением напряженного состояния в окрестности Углегорского землетрясения 2000 г.

Таким образом, рассматриваемое землетрясение произошло в районе Западно-Сахалинского активного разлома. Оно связано с накоплением тектонических напряжений субширотного сжатия и локализацией статических напряжений, инициированных Углегорским землетрясением 2000 г. (*M*w 6.8), что в совокупности привело к возникновению неустойчивости и сдвиговым перемещениям по разлому. Впервые апробирована методика дистанционного обследования макросейсмических проявлений по откликам населения. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности выбранного подхода экспресс-оценки сейсмических сотрясений для внедрения в автоматизированные системы мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коновалов А.В., Степнов А.А., Патрикеев В.Н.* Организация автоматизированного рабочего места сейсмолога с использованием пакета сейсмологических программ SEISAN // Сейсмические приборы. 2011. Т. 47. № 4. С. 34–49.
2. *Сафонов Д.А., Коновалов А.В.* Апробация вычислительной программы FOCMEC для определения фокальных механизмов землетрясений Курило-

Охотского и Сахалинского регионов // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 3. С. 102–117.
3. *Харахинов В.В.* Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Научный мир; 2010.
4. *Wald D.J., Quitoriano V., Dengler L.A., et al.* Utilization of the Internet for Rapid Community Intensity Maps // Seismological Research Letters. 1999. V. 70. № 6. P. 680–697.
5. *Quitoriano V., Wald D.J.* USGS "Did You Feel It?"—Science and Lessons From 20 Years of Citizen Science-Based Macroseismology // Front Earth Sci. 2020. V. 8. Art. 120.
6. Ресурс актуальной информации о землетрясениях, сейсмических воздействиях и сейсмической опасности на территории Дальнего Востока России. https://eqalert.ru/#/
7. *Коновалов А.В., Степнов А.А.* Карты детального сейсмического районирования нового поколения для южной части о. Сахалин // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 494. № 1. С. 66–70.
8. *Morikawa N., Fujiwara H.* A New Ground Motion Prediction Equation for Japan Applicable up to M9 Mega-earthquake // Journal of Disaster Research. 2013. V. 8. № 5. P. 878–888.
9. *Allen T.I., Wald D.J.* Topographic Slope as a Proxy for Global Seismic Site Conditions (VS30) and Amplification around the Globe / U.S. Geological Survey; 2007 Open-File Report 2007-1357.
10. ГОСТ Р 57546–2017 от 1 сентября 2017 г. «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности». http://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=6318033.
11. https://www.youtube.com/watch?v=4fyCYs-FQ5qs&feature=youtu.be.
12. *Кофф Г.Л., Булгаков Р.Ф., Иващенко А.И. и др.* Предварительная оценка последствий Углегорского землетрясения 4 (5) августа 2000 года на Сахалине. М.: Южно-Сахалинск. 2000.
13. *Lin J., Stein R.S.* Stress Triggering in Thrust and Subduction Earthquakes and Stress Interaction between the Southern San Andreas and Nearby Thrust and Strike-slip Faults // J. Geophys. Res. 2004. V. 109. P. B02303.
14. *Kogan M.G., Bürgmann R., Vasilenko N.F., et al.* The 2000 M_w 6.8 Uglegorsk Earthquake and Regional Plate Boundary Deformation of Sakhalin from Geodetic Data // Geophys. Res. Lett. 2003. V. 30. № 5. P. 1102.
15. USGS National Earthquake Information Center, PDE. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0009xws/moment-tensor.

THE STRONG EARTHQUAKE IN SAKHALIN ISLAND ON 13.09.2020

A. V. Konovalov[a], Academician of the RAS A. I. Khanchuk[a], A. A. Stepnov[a], and Yu. A. Stepnova[a,#]

[a] *Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

[#] *E-mail: yshabanova@gmail.com*

The seismotectonic position of a strong earthquake occurred in the south of Sakhalin Island on September 13, 2020 is considered. The maximum community internet intensity is registered in Uglegorsk. The ground shaking with CII = 5.5 caused damages of the buildings with low seismic capacity. Investigated territory had already experienced the significant ground shaking of the Mw 6.8 earthquake in 2000. It is suggested that recent earthquake was triggered by the 2000 Uglegorsk earthquake (Mw 6.8). Currently, the Sakhalin Oblast is considered as a pilot region for the implementation of a new federal program for the relocation of people from dilapidated housing. An important issue is the assessment of the seismic potential of the fault zones, where construction is expected, taking into account the postseismic effects considered in the article.

Keywords: earthquake, ground shaking, fault, Coulomb stress