

УДК 551.432.7

ОПАСНОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ ВУЛКАНА БЕРЕНБЕРГ (ОСТРОВ ЯН-МАЙЕН, НОРВЕЖСКО-ГРЕНЛАНДСКОЕ МОРЕ)

© 2022 г. А. О. Мазарович^{1,*}, С. Ю. Соколов¹

Представлено академиком РАН К.Е. Дегтяревым 10.02.2022 г.

Поступило 11.02.2022 г.

После доработки 03.03.2022 г.

Принято к публикации 10.03.2022 г.

Остров Ян-Майен расположен в 600 км к северу от о. Исландия на границе микроконтинента и активной части одноименного трансформного разлома. В северной части острова находится активный стратовулкан Беренберг, который начал формироваться в позднем плейстоцене. Последнее извержение вулкана произошло в 1985 г. С 1900 г. в левосдвиговой зоне разлома Ян-Майен зарегистрировано несколько десятков землетрясений, магнитуда которых нарастает и достигла в 2018 г. значения 6.8. В статье проведены анализ рельефа, потенциальных полей и обзор геодинамической обстановки в районе о. Ян-Майен, который позволяет предполагать, что северо-восточные склоны стратовулкана Беренберг могут быть разрушены оползнем с возникновением цунами.

Ключевые слова: остров Ян-Майен, вулкан Беренберг, геологическая опасность, оползень, землетрясения, трансформный разлом

DOI: 10.31857/S2686739722060111

Многие вулканические постройки в ходе своей эволюции были разрушены катастрофическими оползневыми процессами. Эти явления установлены не только на суше, но и на островах Мирового океана. Разрушения могут протекать очень быстро и вызывать катастрофические цунами. Приведем только два примера из недавней истории. Остров Риттер в море Бисмарка [11] и Анак Кракатау в Зондском проливе [13] были разрушены оползнями в 1888 и 2018 г. соответственно и вызвали цунами высотой до 20 м на расстоянии до 600 км. На северо-востоке Атлантического океана масштабные оползни разного возраста установлены на островах Санту-Антан, Фогу, Сан-Висенти (Острова Зеленого Мыса), Пальма, Иерро, Тенерифе (Канарские острова), Пику, Гомера (Азорские острова) и ряда других. На некоторых из них (Санту-Антан, Фогу и др.) в оползневых цирках возникали новые вулканические аппараты. Разрушения вулканических построек представляют собой опасное явление и выявление объектов, на которых, потенциально, могут произойти оползневые процессы, представляется важным.

К одному из них можно отнести остров Ян-Майен, расположенный в 600 км к северу от Исландии на $70^{\circ}50' - 71^{\circ}10'$ с.ш. [5, 6, 8, 9]. Он вытянут в северо-восточном направлении, имеет протяженность около 54 км при ширине от 2.5 до 15.8 км и общую площадь в 380 км^2 .

Остров Ян-Майен имеет уникальную геодинамическую позицию. Он расположен (рис. 1) на границе микроконтинента и активной части одноименного трансформного разлома. Микроконтинент выражен в рельефе дна плосковершинным хребтом Ян-Майен субмеридионального простирания протяженностью порядка 200 км и шириной до 30 км. Глубины его поверхности уменьшаются с юга на север от 1400–1500 до 100 м. На севере восточного склона хребта, крутизна которого составляет около 5° (местами может возрастать до 20°), расположен масштабный оползень. Его стенка отрыва протягивается на 60 км и имеет высоту до 350 м. Общий объем тела оползня составляет 60 км^3 (см. рис. 1).

Южная часть острова Ян-Майен представляет собой трещинную вулканическую зону северо-восточного простирания с многочисленными вулканическими конусами, потоками и куполами трахибазальтов и трахитов с возрастными менее 700000 лет и моложе. Они отчетливо выражены в рельефе. Их высота достигает 700 м. В северной части о. Ян-Майен расположен активный стратовулкан Беренберг высотой 2277 м. Он сложен ше-

¹Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: amazarovich@yandex.ru

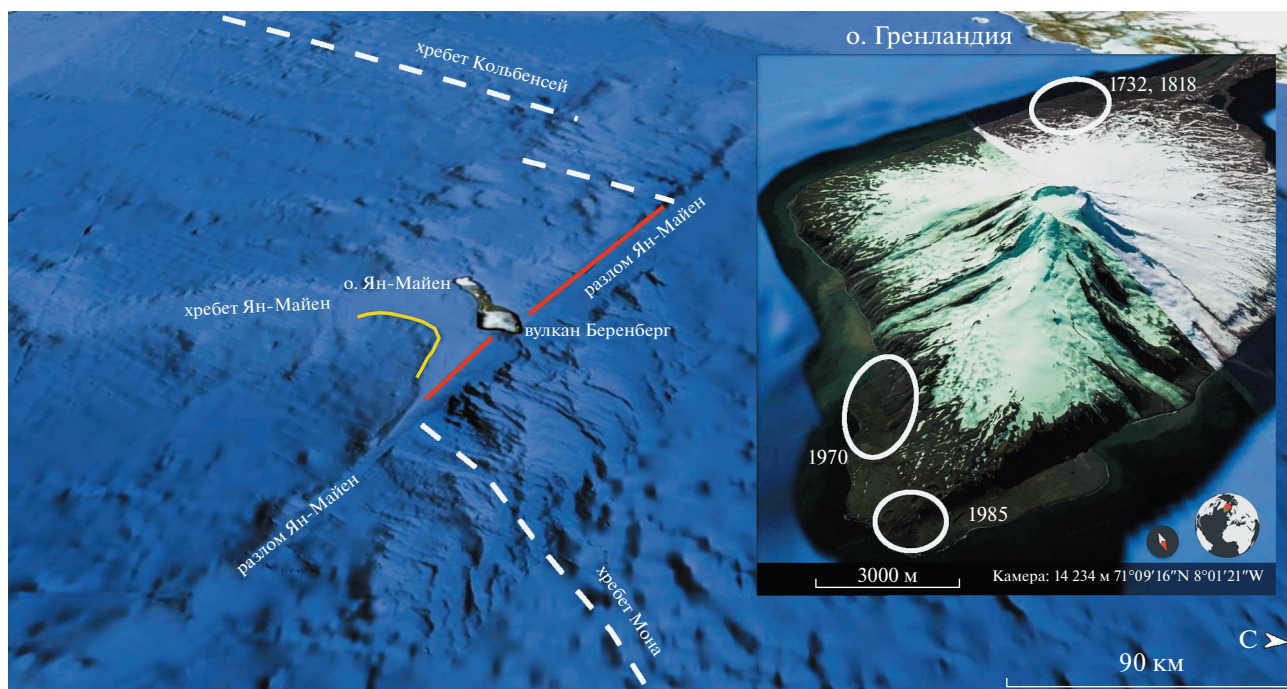


Рис. 1. Положение о. Ян-Майен. Оттененный рельеф в трехмерном изображении. Вид с северо-востока. Линии: штриховая – рифт, красная – активная часть трансформного разлома, желтая – стенка отрыва оползня. На врезке: вулкан Беренберг. Вид с северо-запада. Овалы – места извержений и годы. Топооснова – Google Earth Pro.

лочными оливиновыми базальтами и начал формироваться в позднем плейстоцене. Вулкан расположен на южном склоне трога активной части трансформного разлома Ян-Майен с глубиной свыше 2000 м, образуя в плане “мыс” треугольной формы протяженностью порядка 13 км (см. рис. 1). Таким образом, общая высота постройки Беренберг превышает 4000 м.

На его вершине существует кратер с диаметром порядка 1500 м, открытый в западном направлении. По его морфологии можно предположить, что он был сформирован оползневым процессом. Склоны вулкана осложнены барранкосами. Извержения на острове Ян-Майен, включая северные и северо-восточные периферические части вулкана Беренберг, известны в 1650, 1732, 1818, 1851, 1970 и 1985 г. (см. рис. 1).

В 180 км западнее хребта Ян-Майен протягивается субмеридиональный рифт срединно-океанического хребта Колбенсей. Вместе с тем, судя по аномальному магнитному полю ΔT_a [7], имеющему выраженный осевой линейный максимум и рою преимущественно мелкофокусных сейсмических событий (рис. 2), – активная часть расположена в 60–70 км к западу от него. Это указывает на возможный процесс современной трансформации геометрии рифтовой системы, направленный на компенсацию правого смещения спрединговой системы в восточном направлении около широты $70^{\circ}45'$ с.ш. и спрямление рифтовых

сегментов. Севернее ось спрединга располагается восточнее хребта Колбенсей в пределах хребта Мона северо-северо-восточного простирания. Скорость растяжения в обоих хребтах оценивается в 15–17 мм/год [5]. Длина активной части трансформного разлома Ян-Майен, связывающей оба центра, составляет около 200 км.

С 1900 г. в районе о. Ян-Майен зарегистрировано несколько десятков землетрясений с $M > 5$ [8, 9]. 30 августа 2012 г. и 9 ноября 2018 г. произошли события с $M 6.7$ и 6.8 соответственно (рис. 2).

Распределение сейсмических событий вдоль разлома Ян-Майен показывает, что на западе и востоке около окончаний его активной части наблюдается повышенная концентрация слабых мелкофокусных событий, реализация которых не дает накапливаться слишком сильным напряжениям. В середине активной части мелкофокусные события отсутствуют, но зарегистрированы землетрясения глубинного класса с гипоцентрами на глубинах от 13 до 40 км и магнитудой до 7. Такие же события прослеживаются непосредственно под о. Ян-Майен, и сейсмический процесс с этими параметрами может стать триггером оползневых процессов в вулканической постройке и обрушить его часть. Особо отметим смещение слабой широкофокусной активности в южной части хребта Мона на запад. Это указывает на то, что процесс смены геометрии основных структурных элементов САХ продолжается в настоящее время

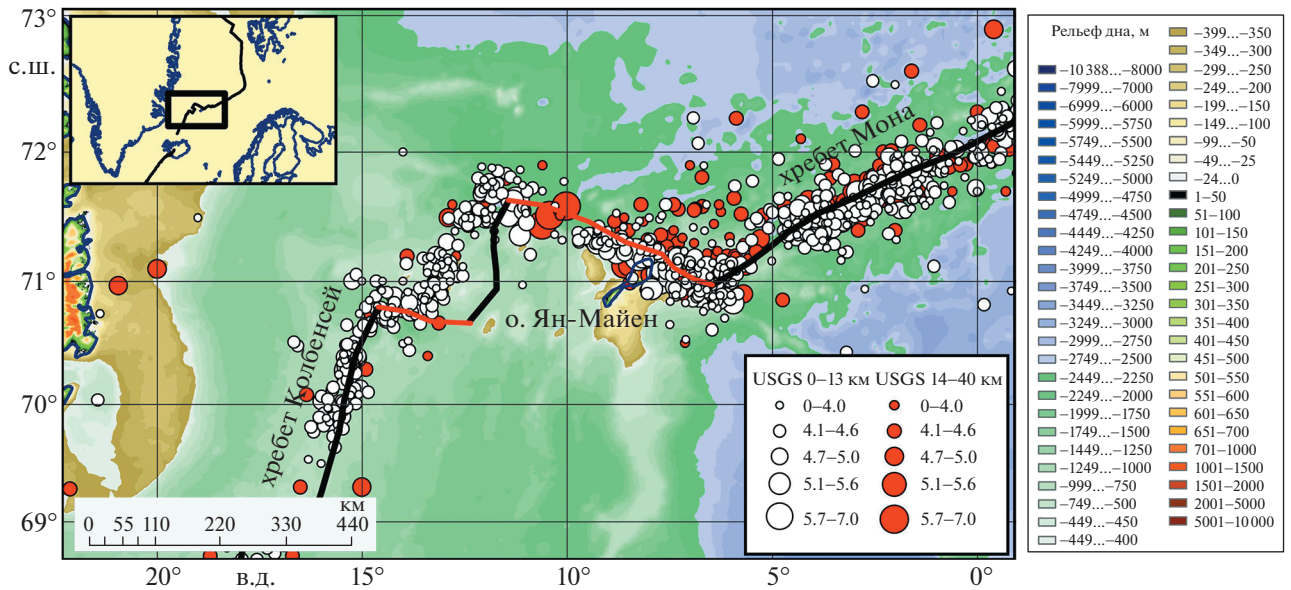


Рис. 2. Сейсмичность района о. Ян-Майен по данным [12], рельеф дна по данным ИВСАО v.3 [4] и положение основных структурных элементов САХ – осей рифта (черные линии) и трансформных разломов (красные линии) по данным рельефа.

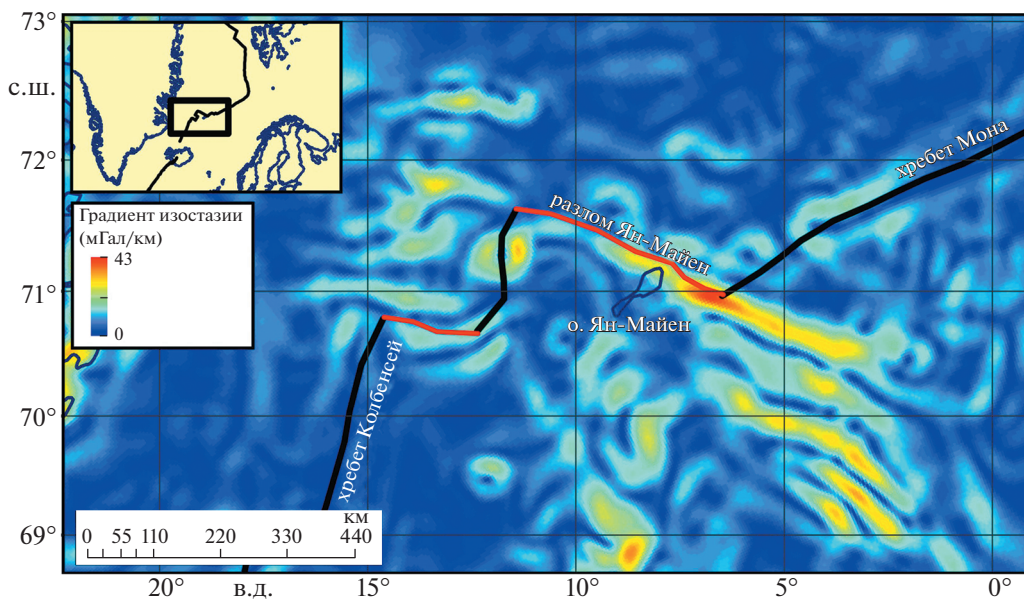


Рис. 3. Горизонтальный градиент изостазии. В расчетах использовались данные [3], положение основных структурных элементов САХ – осей рифта (черные линии) и трансформных разломов (красные линии) построены по данным рельефа [4].

и проходит в ослабленном участке литосферы, возможно содержащем магматические камеры.

Параметром, указывающим на неустойчивое состояние литосферы и наличие потенциала для вертикальных смещений блоков коры и верхней мантии, является изостазия [1]. Еще более информативным для определения наиболее опас-

ных по сейсмичности и вертикальным тектоническим движениям зон является горизонтальный градиент этой редукции гравитационного поля [2]. На рис. 3 приведен горизонтальный градиент изостазии, рассчитанный по данным [3].

Он указывает на зоны с максимальной дифференциацией вертикальных движений блоков лито-

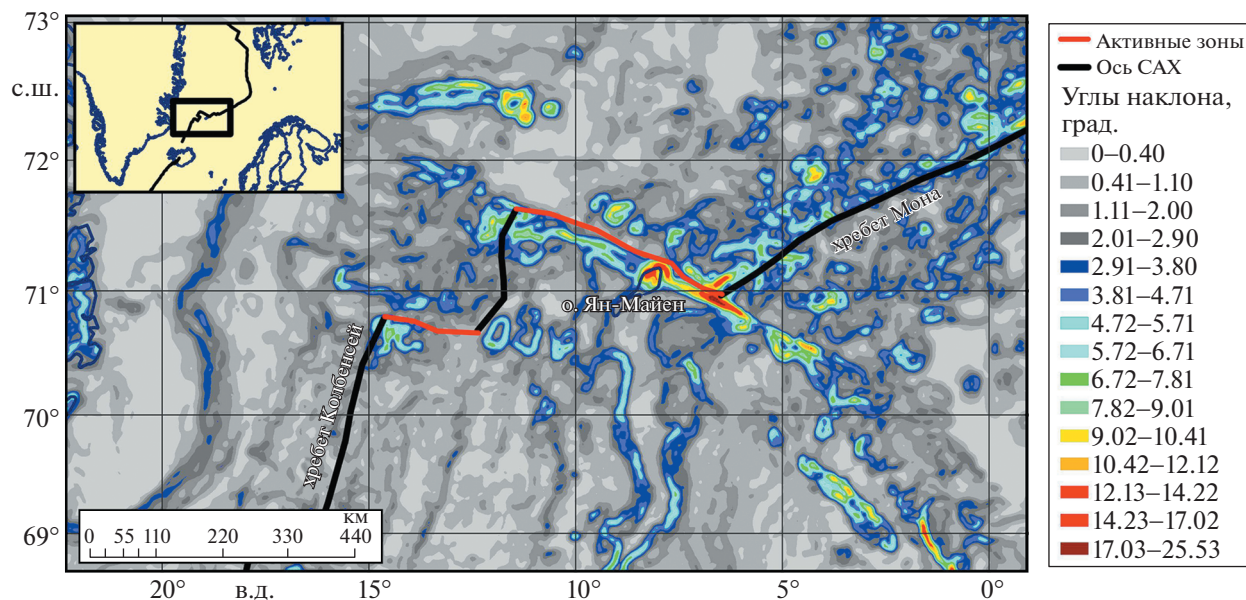


Рис. 4. Углы наклона склонов рельефа дна, рассчитанные по данным [4], и положение основных структурных элементов САХ — осей рифта (черные линии) и трансформных разломов (красные линии) построены по данным рельефа [4]. Матрица углов сглажена в окне 5×5 км.

сферы, на границе которых возможны наиболее высокоамплитудные тектонические движения и срывы, сопровождающиеся сейсмическими событиями. Максимальная амплитуда градиента выявлена около восточного окончания активной части трансформного разлома Ян-Майен в непосредственной близости к вулканической постройке. В настоящий момент разрядка напряжений сопровождается большим числом слабых мелкофокусных событий (см. рис. 2). Но восточная часть также содержит значительное число глубокофокусных событий средней магнитуды, что указывает на протекание активного тектонического процесса на всех структурных этапах. Поскольку, как было указано выше, данный процесс определяется перестройкой геометрии САХ, возникновение сильных событий, способных запустить катастрофические изменения рельефа, весьма вероятно. Эти изменения могут в первую очередь коснуться областей, где накоплены большие массы вулканического материала с большими углами наклонов поверхностей рельефа (рис. 4).

Наиболее крутые склоны располагаются около северной части вулканической постройки и восточного окончания активной части разлома. Последняя область вряд ли может стать очагом обширного обрушения, но вулканическая постройка с большими объемами вулканокластического материала является объектом, потенциально опасным и способным при обрушении сформировать волну цунами.

Геодинамическая обстановка, кратко описанная выше, сейсмическая и вулканическая актив-

ность и особенности рельефа позволяют отнести стратовулкан Беренберг к потенциально опасному вулканическому сооружению, северо-восточные склоны которого могут разрушиться с возникновением оползня с вероятным возникновением цунами и последующим извержением. Представляется, что этот район следует отнести к потенциально опасным для побережья северо-западной Европы, архипелага Шпицберген и о. Гренландия. Отметим, что от о. Ян-Майен до российской экономической зоны в Баренцевом море расстояние составляет менее 1500 км. Известно, что волны цунами могут сохранять амплитуду, даже если источник цунамигенного события расположен на противоположном берегу Тихого океана.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке темы госзадания ГИН РАН № FMUN-2019-0076 “Геологические опасности в Мировом океане и их связь с рельефом, геодинамическими и тектоническими процессами”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемьев М.Е., Бабаева Т.М., Войдецкий И.Е. и др.* Изостазия и гравитационное поле северной Атлантики. М.: МГК, 1987. 156 с.
2. *Соколов С.Ю., Зарайская Ю.А.* Пространственно-временное сопоставление сейсмичности и изостатических аномалий вдоль Срединно-Атлантического хребта // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле.

2019. № 4 (44). С. 51–62.
<https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-4-44-51-62>
3. *Balmino G., Vales N., Bonvalot S., Briaies A.* Spherical Harmonic Modeling to Ultra-high Degree of Bouguer and Isostatic Anomalies // *J. Geod.* 2012. V. 86. P. 499–520.
 4. *Jakobsson M., Mayer L.A., Coakley B., et al.* The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0 // *Geophysical Research Letters.* <https://doi.org/10.1029/2012GL052219>
 5. *Imsland P.* The Geology of the Volcanic Island Jan Mayen, Arctic Ocean // *Nordic Volcanological institute.* 1978. V. 78. 74 p.
 6. *Laberg J.S., Kawamura K., Amundsen H., Baeten N., Forwick M., Rydningen T.A., Vorren Tore O.* A Submarine Landslide Complex Affecting the Jan Mayen Ridge, Norwegian–Greenland Sea: Slide-scar Morphology and Processes of Sediment Evacuation // *Geo-Mar Lett.* 2014. V. 34. P. 51–58.
<https://doi.org/10.1007/s00367-013-0345-z>
 7. *Müller R.D., Sdrolias M., Gaina C., Roest W.R.* Age, Spreading Rates, and Spreading Asymmetry of the World's Ocean Crust // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems G3.* 2008. V.9. No 4. P. 1–19.
<https://doi.org/10.1029/2007GC001743>
 8. *Sørensen M.B., Ottemoller L., Havskov J., Atakan K., Hellevang B., Pedersen R.B.* Tectonic Processes in the Jan Mayen Fracture Zone Based on Earthquake Occurrence and Bathymetry // *Bulletin of the Seismological Society of America.* 2007. V. 97. № 3. P. 772–779.
<https://doi.org/10.1785/0120060025>
 9. *Sørensen M.B.* The 30th August 2012, Mw 6.7 Jan Mayen Earthquake // *Summ. Bull. Internatl. Seismol. Cent., July–December 2012.* Thatcham, United Kingdom. 2016. V. 49 (7–12). P. 33–40.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.999222>
 10. *Sylvester A.G.* History and Surveillance of Volcanic Activity on Jan Mayen Island // *Bulletin Volcanologique* 1975. V. 39. Iss. 2. P. 313–335.
 11. *Ward S.N., Day S.* Ritter Island Volcano – Lateral Collapse and the Tsunami of 1888 // *Geophys. J. Int.* 2003. V. 154. P. 891–902.
 12. USGS Search Earthquake Catalog. 2021. (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>) (Last Access 2021.06.17) Ye L., Kanamori H., Rivera L., et al. The 22 December 2018 Tsunami from Flank Collapse of Anak Krakatau Volcano during Eruption // *Sci. Adv.* 2020. V. 6: eaaz1377.

THE RISK OF DESTRUCTION OF THE BERENBERG VOLCANO (JAN MAYEN ISLAND, NORWEGIAN-GREENLAND SEA)

A. O. Mazarovich^{a,#} and S. Yu. Sokolov^a

^a *Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#] *E-mail: amazarovich@yandex.ru*

Presented by Academician of the RAS K.E. Degtyarev February 10, 2022

The volcanic, seismic and geodynamic conditions in the region of the island Jan Mayen are analyzed. It is shown that part of the active volcano Berenberg, located in the north of the island, is located within the active part of the Jan Mayen transform fault. Historic eruptions took place here. It has a caldera, apparently of landslide origin. In the immediate vicinity of the Berenberg volcano, the maximum amplitude of the isostasy gradient was revealed. The steepest slopes are located on its northern part. All data allow us to attribute the Berenberg stratovolcano to a potentially dangerous volcanic structure, the northeastern slopes of which can collapse with the occurrence of a landslide.

Keywords: Jan Mayen Island, Berenberg Volcano, geological hazard, landslide, earthquakes, transform fault