

УДК 550.311

## СЕЙСМИЧНОСТЬ СЕВЕРНОЙ АКВАТОРИИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В РАЙОНЕ ТРОГОВ ФРАНЦ-ВИКТОРИЯ И ОРЛА

© 2014 г. А. Н. Морозов<sup>1,2</sup>, Н. В. Ваганова<sup>1</sup>, Я. В. Конечная<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 163000, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 23  
e-mail: morozovalexey@yandex.ru

<sup>2</sup>Сектор сейсмического мониторинга севера Русской плиты Геофизической Службы РАН, 163000,  
г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 109

Поступила в редакцию 5.08.2013 г.

В статье приведены результаты сейсмического мониторинга в районе желобов Франц-Виктория и Орла за период с 2011 по 2013 годы. Представлен сейсмический каталог зарегистрированных землетрясений с вычисленными параметрами очага, проведена характеристика пространственного распределения эпицентров. Произведено сравнение полученных результатов мониторинга с данными по историческим землетрясениям. Построен кумулятивный график повторяемости.

**Ключевые слова:** акватория Баренцева моря, сейсмический мониторинг Арктики, трог Орла и Франц-Виктория

DOI: 10.7868/S0016853X14030047

### ВВЕДЕНИЕ

Проведение сейсмического мониторинга отдельных районов Арктики сталкивается с рядом объективных трудностей. Во-первых, редкая сеть сейсмических станций не позволяет регистрировать слабые землетрясения. Во-вторых, конфигурация (расположение в пространстве) станций порой не всегда позволяет достоверно определять такие параметры очага землетрясений, как координаты, глубины и фокальные механизмы.

В результате, как отмечает в своей работе Панащенко Г.Д. [9], складывающиеся представления о сейсмичности Арктики неполны и односторонне отражают действительность, поскольку слабые землетрясения, изучение которых дает многое для выявления пространственно-временных вариаций сейсмичности и более правильного понимания связи ее с геологическим строением региона и развивающимися в его пределах геодинамическими процессами, не участвуют в их формировании. Аналогичные выводы делают в своих работах и другие авторы, в частности [1, 4, 15].

Возобновление с 2011 года инструментальных сейсмологических наблюдений на архипелаге Земля Франца-Иосифа (о. Александры) позволило создать благоприятные условия для проведения сейсмического мониторинга ряда районов Арктики, в частности, в районе желобов Франц-Виктория и Орла [3]. Установка современной высокочувствительной аппаратуры позволяет регистрировать слабые землетрясения в районе желобов, а привлечение исходных данных сейсмических станций архипелага Шпицберген KBS [12] и SPAO [11], создает условия для достоверного определения параметров их очагов. Результатам наблю-

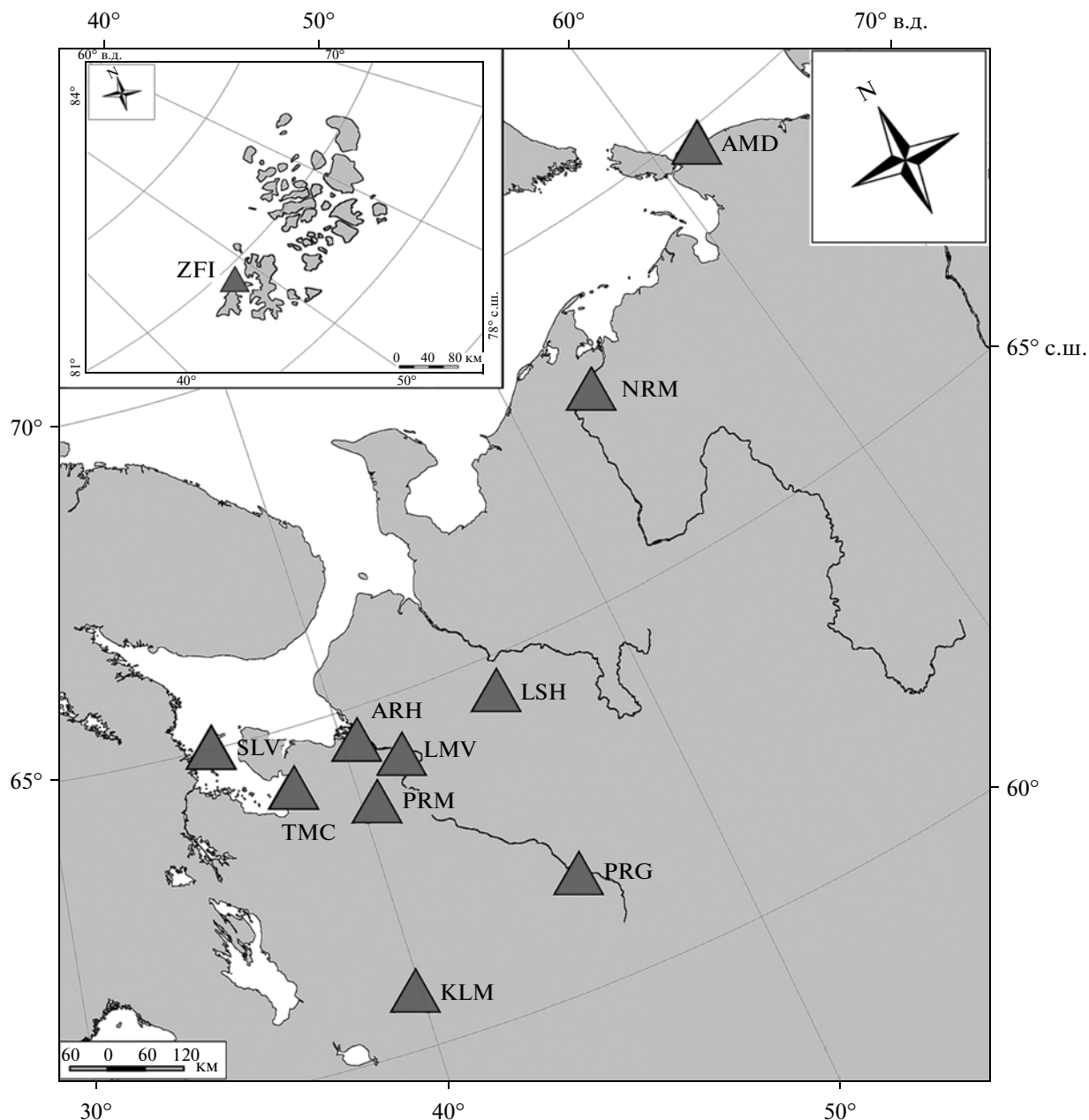
дений за сейсмичностью в районе желобов Франц-Виктория и Орла и посвящена данная статья.

### ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Особенностью окраинных частей Баренцева моря является наличие крупных отрицательных морфоструктур, которые в литературе именуется трогами и (или) желобами. В тектоническом отношении они представляют собой грабены или грабенообразные формы, сформированные в результате разновременных тектонических и геоморфологических процессов [8].

Согласно геоморфологическому описанию в работе [8], желоб Франц-Виктория находится на северной оконечности шельфа Баренцева моря к западу от архипелага Земля Франца-Иосифа и представляет собой субмеридиональный прогиб, который пересекает континентальный склон Евразии, и имеет длину порядка 500 км. Его ширина в южной части составляет 40–90 км, а в северной колеблется от 150 до 300 км. Склон восточного борта желоба по большей части прямой, а западный ступенчатый. Глубины в желобе достигают 470 м, в основном доходят до 250–350 м. В геологическом строении желоба Франц-Виктория участвуют нижнемеловые базальтовые и порфи́ро-базальтовые породы.

Желоб Орла огибает о. Северо-Восточная Земля архипелага Шпицберген и на юге соединяется с желобом Эрик-Эриксен, а на севере “открывается” в сторону континентального склона. Ширина желоба меняется в пределах от 20–25 км на



**Рис. 1.** Карта расположения сейсмических станций Архангельской сети  
Треугольниками обозначены Станции Архангельской сейсмической сети

юге до более чем 80 км на севере. Днище трога имеет разветвленный характер и имеет глубины свыше 400 м. Восточный склон более пологий и имеет крутизну в первые градусы. Западный склон обладает несколько большим уклоном [8].

В пределах желобов Франц-Виктория и Орла проводились измерения теплового потока [10] и установлено, что он является аномальным по сравнению с фоновыми значениями для Баренцева моря. В двух точках, лежащих на линии северо-восточного простираения желоба Франц-Виктория, получены значения 88 и 97 мВт/м<sup>2</sup>. Аномально высокий тепловой поток характерен для всего желоба Орла и

составляет от 300 до 520 мВт/м<sup>2</sup>, что почти в 10 раз выше уровня фоновых значений.

#### ХАРАКТЕРИСТИКА АППАРАТУРЫ, ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ

Сейсмический мониторинг района исследования проводился на основе данных сейсмической станции ZFI за период с октября 2011 по май 2013 года. Станция ZFI входит в Архангельскую сейсмическую сеть и функционирует на о. Александры архипелага Земля Франца-Иосифа (рис. 1).

Сейсмический каталог зарегистрированных землетрясений с вычисленными параметрами очага за период с 2011 по 2013 годы.

Дата дд.мм.гг	Время в очаге чч:мм:сс.с	Широта $\varphi$ , °	Долгота $\lambda$ , °	$M_L$	Глубина, км
04.04.2013	23:14:00.0	80.59	41.88	1.1	—
09.12.2011	04:56:30.6	81.44	35.67	1.2	—
08.01.2013	03:33:59.0	80.18	36.72	1.2	—
04.03.2012	21:53:57.4	81.33	31.6	1.3	—
06.03.2012	18:13:11.6	82.55	34.22	1.3	—
30.01.2013	10:16:52.9	79.98	31.99	1.3	—
10.12.2011	11:04:16.0	80.96	29.36	1.4	—
21.12.2011	23:53:33.6	82.66	33.65	1.4	—
27.01.2012	09:05:47.1	81.66	35.77	1.5	—
25.11.2011	21:30:55.9	82.01	38.65	1.7	—
29.04.2012	04:51:54.4	79.98	33.36	1.7	—
15.11.2012	02:35:29.8	81.98	37.85	1.9	—
03.02.2013	20:55:38.4	81.29	36.11	1.9	—
13.11.2011	03:30:13.6	81.86	36.21	2	—
29.04.2012	10:07:34.0	82.16	40.33	2.2	—
06.02.2013	03:54:58.0	80.33	32.28	2.8	22 ± 5
07.12.2012	02:47:01.4	82.93	50.21	2.9	5 ± 1
30.01.2013	10:55:37.0	80.23	31.53	2.9	21 ± 3
30.01.2013	09:53:12.8	79.97	33.38	3.6	28 ± 4

Аппаратура сейсмической станции состоит из двух комплектов сейсмологического оборудования: короткопериодного датчика CMG-40T (фирма Guralp) с регистратором GSR-24 и широкополосного датчика CMG-6TD (фирма Guralp) с встроенным регистратором, установленных на расстоянии 260 м друг от друга.

Для минимизации ошибки в определении эпицентров зарегистрированных землетрясений дополнительно привлекались исходные данные широкополосных каналов сейсмических станций, функционирующих на архипелаге Шпицберген: сейсмической станции KBS, входящей в сеть GEOFON [12], и SPA0, входящей в сейсмическую группу SPITS сейсмологического агентства NORISAR [11].

Непосредственно анализ сейсмических данных с целью получения параметров очага проводился в программном комплексе WSG, совместной разработки Геофизической службы РАН и ООО «НПП Геотех». Для определения координат землетрясений и времени в очаге использовалась разработанная в Кольском филиале Геофизической службы РАН скоростная модель распространения объемных волн BARENTS [16]. Для определения значений локальной магнитуды  $M_L$  (MWA) использовался реализованный в программе WSG способ расчета, основанный на усредненной по Северной Евразии калибровочной функции [6]. Определение значений глубин очага для нескольких землетрясений производился в программе HYPO71 [17]. Необходимым условием для вычисления глубины очага была регистрация землетрясения не менее пятью сейсмическими станциями из числа станций Архангельской сейсмической сети, Финской национальной сейсмической

сетей NORISAR и IRIS. Процедура анализа сейсмических данных проводилась вручную опытными обработчицами Института экологических проблем Севера УрО РАН.

Для получения информации по историческим землетрясениям в районе исследования за период с 1908 по 2011 годы использовались данные сейсмологической службы ISC [13]. Запрос данных по району исследования был ограничен следующими координатами: по широте от 79° до 84° и по долготе от 27° до 51°.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

За период с октября 2011 по май 2013 года из района желобов Франц-Виктория и Орла было зарегистрировано 19 землетрясений, для которых были получены параметры очага (таблица). Значения магнитуд  $M_L$  зарегистрированных землетрясений варьируются от 1.1 до 3.6.

Пространственное распределение эпицентров имеет ряд характерных особенностей (рис. 2). В желобе Франц-Виктория эпицентры землетрясений тяготеют к его устьевой части в районе континентального склона. Было зарегистрировано три слабых землетрясения с магнитудами до 2.0 и одно землетрясение с магнитудой 2.2. Также одно слабое землетрясение с магнитудой 1.1 было зарегистрировано в центральной части желоба у его западного борта. Из желоба Орла за весь период наблюдений было зарегистрировано только одно землетрясение с магнитудой 1.4. Эпицентр располагается ближе к устьевой части желоба.

Большая часть эпицентров зарегистрированных землетрясений приурочена к поднятию Белый и Виктория между желобами Франц-Викто-

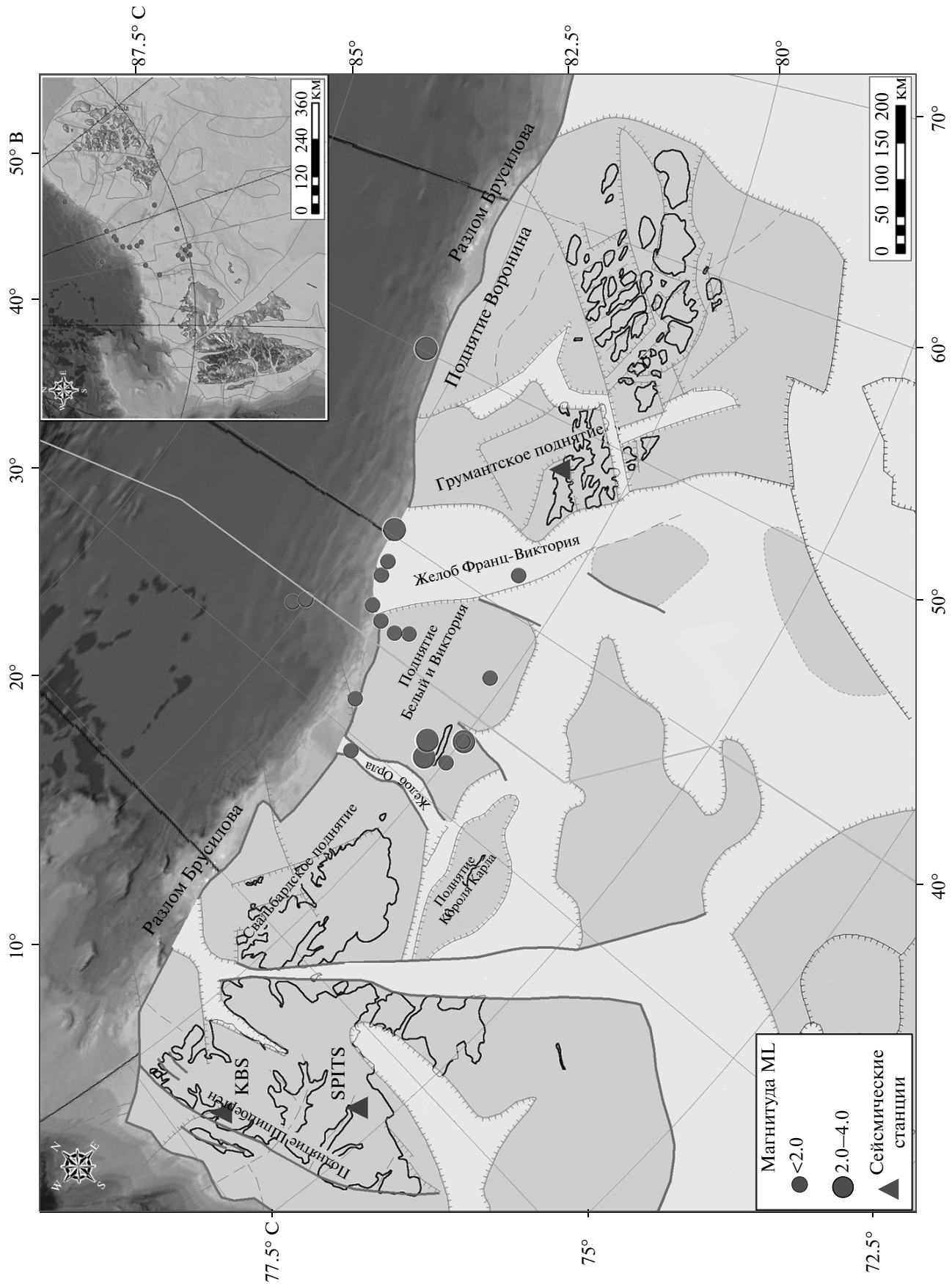


Рис. 2. Распределение эпицентров землетрясений по результатам мониторинга сейсмичности в районе желобов Франц-Виктория и Орла за период с октября 2011 по май 2013 года. Эпицентры нанесены на карту неотектонических структур и активных разломов [5], совмещенную с батиметрическими данными [14]

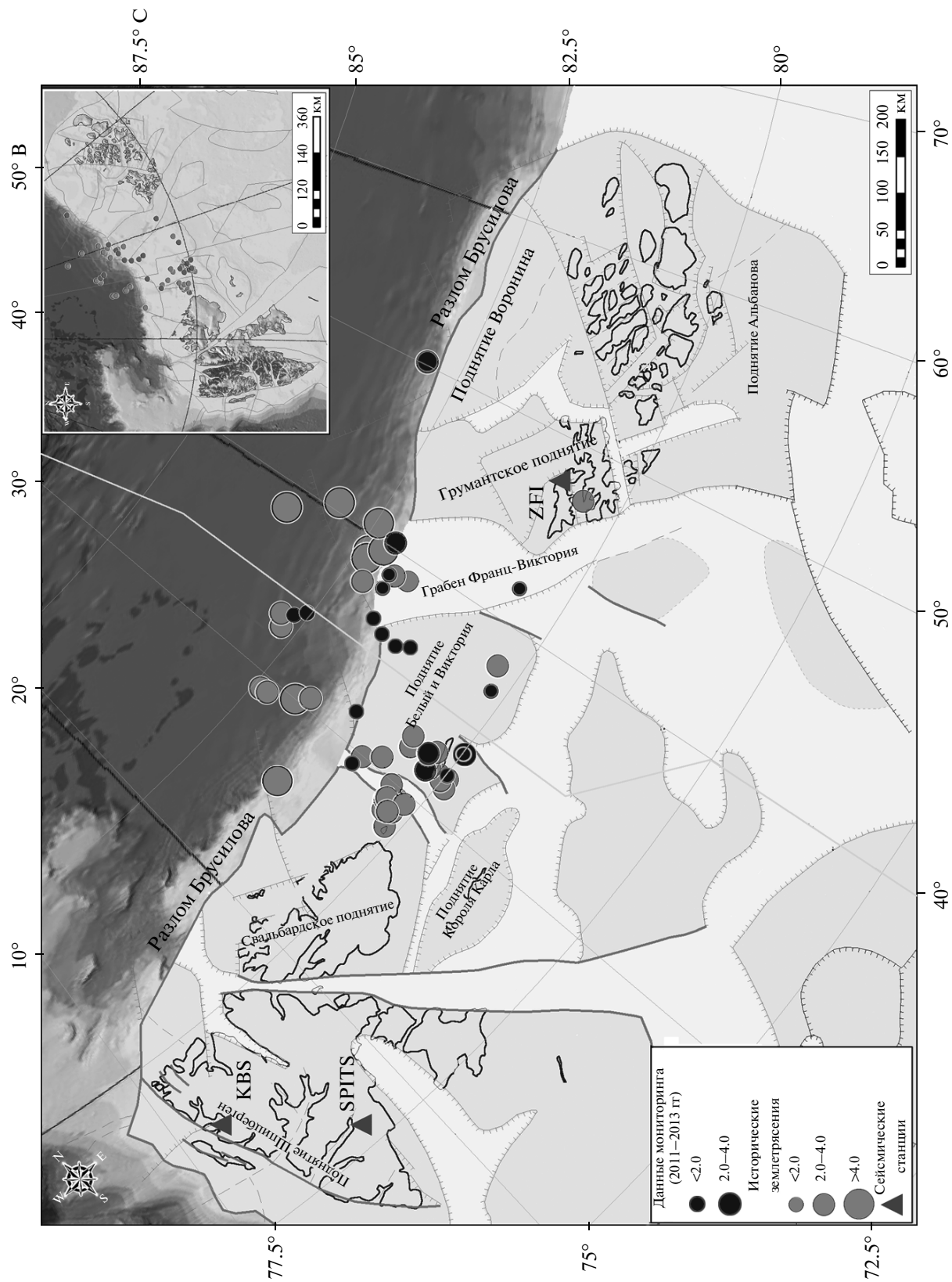


Рис. 3. Распределение эпицентров исторических землетрясений и землетрясений по результатам мониторинга сейсмичности в районе желобов Франц-Виктория и Орла за период с октября 2011 по май 2013 года. Эпицентры нанесены на карту неотектонических структур и активных разломов [5], совмещенную с батиметрическими данными [14]

рия и Орла (см. рис. 2). В частности, можно отметить в районе поднятия зону повышенной сейсмичности около о. Белый. За период наблюдений около острова было зарегистрировано пять землетрясений, среди них три землетрясения с магнитудами 2.8, 2.9 и 3.6. Для последних были вычислены значения глубин очагов, которые составили, соответственно, 22, 21 и 28 км (см. таблицу).

Три эпицентра с магнитудами до 2.0 в районе поднятия расположены на границе континентального склона и западного борта желоба Франц-Виктория. По одному слабому землетрясению зарегистрировано в северной и южной части поднятия.

Одно землетрясение с магнитудой 2.9 было зарегистрировано в районе поднятия Воронина на границе континентального склона. Для этого землетрясения удалось вычислить глубину очага, которая составляет 5 км (см. таблицу). Также два слабых землетрясения с магнитудами до 2.0 зарегистрированы севернее устьевой части желоба Франц-Виктория.

Особенности пространственного распределения эпицентров зарегистрированных землетрясений хорошо согласуются с распределением эпицентров исторических землетрясений (рис. 3). В желобе Франц-Виктория эпицентры также тяготеют к его устьевой части и севернее. Остальных сейсмически активных зон в желобе выявлено не было.

В желобе Орла эпицентры исторических землетрясений тяготеют к западному борту желоба в его центральной части. Зарегистрированы были несколько землетрясений в устьевой части желоба и севернее.

По историческим данным подтверждается наличие зоны повышенной сейсмичности около о. Белый в районе поднятия Белый и Виктория. За весь период инструментальных наблюдений до 2011 года зарегистрировано около 10 землетрясений с магнитудами от 2.2 до 3.6. Для двух землетрясений определены значения глубин очага равными 24.5 и 30.5 км.

Для определения количественной характеристики сейсмичности в районе желобов Франц-Виктория и Орла было рассчитано уравнение графика повторяемости, характеризующего распределение землетрясений по энергии. Наклон графика повторяемости  $\gamma$ , наряду с сейсмической активностью  $a$ , являются одними из основных параметров сейсмического режима. В выборе способа построения графика повторяемости предпочтение отдается кумулятивному графику, поскольку этот вариант лишен недостатков, свойственных гистограммам, в частности, произвольным выбором интервала разбиения.

График повторяемости был построен по историческим землетрясениям, для которых определена магнитуда  $M_L$ , в совокупности с данными по землетрясениям, зарегистрированным станцией ZFI. Для линейного участка графика в диапазоне значений магнитуд от 2.2 до 3.8 уравнение графика

повторяемости имеет вид  $\lg N = -1.12M_L + 3.64$ , соответственно, угол наклона равен 1.12. Для сравнения, уравнение графика повторяемости землетрясений Шпицбергена, рассчитанный на основе наблюдений за 1964–1998 гг., имеет вид  $\lg N = -1.22mb(ISC) + 5.03$ , а график повторяемости хребта Книповича за период 1964–1998 гг. и значений  $mb(ISC) = 4.5-5.5$  имеет вид:  $\lg N = -1.25mb(ISC) + 6.24$  [2].

Полученные параметры сейсмичности в районе желобов Франц-Виктория и Орла позволяют внести свой вклад в освещение ряда структурно-тектонических вопросов взаимодействия континентальной и океанической литосферы. Во-первых, данные по сейсмичности желоба Орла наряду с обнаруженным аномально высоким тепловым потоком в желобе количественно подтверждают выводы, сделанные в работе [10] о современной деструкции континентальной коры. Ранее об этом можно было судить по ряду признакам, характерным для процесса современной деструкции континентальной коры (морфология желобов, структура грабенов на суше, четвертичный, в том числе голоценовый вулканизм, термическая активность, гидротермальная разгрузка, альпийский расчлененный рельеф) [10].

Во-вторых, параметры сейсмичности, полученные для бровки шельфа и далее на склон, могут отражать процессы изостатической компенсации, вызванной некомпенсированной нагрузкой от осадков в зоне перехода континент—океан вследствие интенсивного выноса осадочного материала, отмеченного в работе [7].

## ВЫВОДЫ

По результатам мониторинга сейсмичности в районе желобов Франц-Виктория и Орла за период с октября 2011 по май 2013 года можно сделать следующие выводы:

1. В желобе Франц-Виктория сейсмическая активность проявляется в его устьевой части, в остальных он асейсмичен. Вывод подтверждается данными по распределению эпицентров исторических землетрясений.

2. Желоб Орла в настоящее время асейсмичен. Однако, по данным исторических землетрясений выявляется зона повышенной сейсмичности в его центральной части у его западного борта.

3. Выявлена зона повышенной сейсмичности, подтвержденная сведениями об исторических землетрясениях, у о. Белый в районе поднятия Белый и Виктория. Для трех землетрясений вычислены значения глубин очага, равные 22, 21 и 28 км.

4. Для района желобов Франц-Виктория и Орла рассчитано уравнение графика повторяемости, которое имеет вид  $\lg N = -1.12M_L + 3.64$ . Зависимость вычислена для линейного участка графика в диапазоне значений магнитуд от 2.2 до 3.8.

5. Пространственно-временное распределение очагов землетрясений в районе желобов Франц-Виктория и Орла подтверждает выводы, сделанные в работах [7, 10] по современной деструкции континентальной коры и процессах изостатической компенсации зоны перехода континент–океан вследствие выноса осадочного материала.

Работа выполнена при частичной поддержке ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–2013 гг., Соглашение № 8331, программы Президиума РАН № 12-П-5-1009 и гранта РФФИ № 11-05-98800-р-север-а.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аветисов Г.П.* Сейсмоактивные зоны Арктики. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1996. 186 с.
2. *Аветисов Г.П., Зинченко А.Г., Мусатов Е.Е., Пискарев А.Л.* Сейсмическое районирование Арктического региона // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. СПб.: ВНИИОГ, 2002. С. 162–175.
3. *Антоновская Г.Н., Данилов К.Б., Конечная Я.В., Данилов А.В.* Установка и первые результаты работы сейсмической станции ZFI на архипелаге Земля Франца-Иосифа // Физический вестник Института естественных наук и биомедицины САФУ. 2011. Вып. 10. С. 31–38.
4. *Ассиновская Б.А.* Сейсмичность Баренцева моря. М.: РАН, 1994. 128 с.
5. Атлас: Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: Научный мир, 2004. 108 с.
6. *Габсатарова И.П.* Внедрение в рутинную практику подразделений Геофизической службы РАН процедуры вычисления локальной магнитуды // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных / Ред. Маловичко А.А. Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 49–53.
7. *Зайончек А.В., Брекке Х., Соколов С.Ю., Мазарович А.О., Добролюбова К.О., Ефимов В.Н., Абрамова А.С., Зарайская Ю.А., Кохан А.В., Мороз Е.А., Пейве А.А., Чамов Н.П., Ямпольский К.П.* Строение зоны перехода континент–океан северо-западного обрамления Баренцева моря (по данным 24, 25 и 26 рейсов НИС “Академик Николай Страхов”, 2006–2009 гг.) // Строение и история развития литосферы. Вклад России в Международный Полярный Год. Т. 4. М.: Paulsen, 2010. С. 111–157.
8. *Мороз Е.А., Мазарович А.О., Абрамова А.С., Ефимов В.Н., Зарайская Ю.А., Соколов С.Ю.* Неотектоника северо-запада Баренцева моря // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Вып. 2 / Ред. Лаврушин Ю.А. М.: ГЕОС, 2010. С. 161–173.
9. *Панасенко Г.Д.* Проблемы сейсмического районирования Западного сектора советской Арктики // Природа и хозяйство Севера. 1986. Вып. 14. С. 4–6.
10. *Хуторской М.Д., Леонов Ю.Г., Ермаков А.В., Ахмедзянов В.Р.* Аномальный тепловой поток и природа желобов в северной части Свальбардской плиты // Докл. РАН. 2009. Т. 424. № 2. С. 1–7.
11. Электронный ресурс сейсмологического агентства NORISAR – <http://www.norisar.no>.
12. Электронный ресурс сети GEOFON – <http://geofon.gfz-potsdam.de/geofon/>.
13. Электронный ресурс Международного сейсмологического Центра ISC – <http://www.isc.ac.uk/>.
14. Электронный ресурс Национального геофизического центра данных NOAA – <http://www.ngdc.noaa.gov/>.
15. *Юдахин Ф.Н., Французова В.И.* О необходимости создания сети сейсмического мониторинга в северных регионах России // Вестник УрО РАН. 2006. № 2(16). С. 25–35.
16. *Kremenetskaya E., Asming V., Vinogradov Yu.* Seismic profiling and calibration of seismic travel-time models for Barents region // Geophysical Research Abstracts, V. 6, 00881, 2004. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU04-A-00881 с European Geosciences Union 2004.
17. *Lee W.H.K., Lahr J.C.* HYP071: A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes. U.S. Geological Survey Open File Report 75-311. 1975. 113 p.

Рецензент: Е.А. Рогожин

## Seismicity of the Northern Barents Sea in Area of the Franz Victoria and Orla Troughs

A. N. Morozov<sup>a, b</sup>, N. V. Vaganova<sup>a</sup>, and Ya. V. Konechnaya<sup>a, b</sup>

<sup>a</sup> Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, nab. Severnoi Dviny, 23, Arkhangel'sk, 163000 Russia

e-mail: morozovalexey@yandex.ru

<sup>b</sup> Sector of Seismic Monitoring of the Northern Russian Plate, Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, nab. Severnoi Dviny, 109, Arkhangel'sk, 163000 Russia

Received August 5, 2013

**Abstract**—The results of seismic monitoring in the area of the Franz Victoria and Orla trenches in 2011–2013 are discussed in the paper. A seismic catalog of recorded earthquakes with calculated source parameters is given, and the spatial distribution of these earthquakes is characterized. The results of monitoring are compared with the data on historical earthquakes. A cumulative graph of recurrence has been constructed.

**Keywords:** Barents Sea, seismic monitoring of Arctic Region, Franz Victoria and Orla troughs