

НОВЕЙШИЕ ДАННЫЕ О СЕЙСМИЧНОСТИ ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

мл. науч. сотр. А.С.ЖОЛОНДЗ¹, д-р физ.-мат. наук Т.Б.ЯНОВСКАЯ²

¹ – ВНИИОкеангеология им. И.С.Граммберга, Санкт-Петербург, zhas@vniio.nw.ru

² – СПбГУ, физический факультет, Санкт-Петербург, yanovs@yandex.ru

Сейсмичность арктического региона активно исследуется со второй половины XX века по настоящее время. Используя ранее опубликованные материалы [Аветисов, 1996; Аветисов, 2006; Аветисов, 2009; Sihna et al., 1998; Schindwein et al., 2006], а также новые данные по очагам землетрясений из электронного банка данных во ВНИИОкеангеология, International Seismologic Center (ISC), International Research Service (IRIS), U.S. Geological Survey (USGS), были проанализированы положения осей сжатия и растяжения на хребтах Гаккеля, Мона, Колбейнсей и Книповича по отдельности, что дало возможность выявить основные действующие силы в районе каждого из хребтов. В результате статистического анализа временного распределения землетрясений выявлен 11-летний цикл сейсмичности.

Ключевые слова: Арктика, землетрясение, фокальные механизмы, хребет Гаккеля, хребет Мона, хребет Книповича, хребет Колбейнсей, спрединг.

Начало сейсмологических наблюдений в Арктике было положено открытием шведской станции Abisko в 1906 г. С этого момента происходило постепенное увеличение количества станций во всех странах арктического региона. Так, к 1950 г. постоянно действующих станций было 2–3, а к 1990 г. их количество возросло до 43 [Аветисов, 1996].

В глубоководной части Северного Ледовитого океана (СЛО) эпицентры землетрясений привязаны в подавляющем большинстве случаев к линии Срединно-Арктического хребта. В его пределах по распределению очагов землетрясений, их характеристикам выделяются несколько характерных зон [Аветисов, 1996; Аветисов, 2009; Schindwein et al., 2006]. В Норвежско-Гренландском бассейне очевидны три сегмента – хребты Колбейнсей, Мона, Книповича, разделенные и смещенные зонами трансформных разломов Тьорнес и Ян-Майенской. В Евразийском суббассейне выделяется ограниченный Шпицбергенской зоной разломов и Лаптевским континентальным склоном хребет Гаккеля. Все хребты обозначены на рис. 1.

На хребте Колбейнсей эпицентры трассируют его северное и южное завершения [Аветисов, 2009]. Отмечается довольно заметное рассеивание их от осевой зоны. В центре же находится спокойный участок, на котором не было зафиксировано ни одного события за весь период наблюдений. На хребтах Мона и Книповича распределение эпицентров отличается – землетрясения происходят вдоль всей осевой линии хребта, но достаточно широкой полосой. В Евразийском суббассейне на хребте Гаккеля эпицентры выстраиваются вдоль довольно узкой осевой линии. При этом вдоль нее наблюдаются три области сгущения очагов. По этой причине авторы статьи условно разделили хребет Гаккеля на три части – западную $0 < \lambda < 60$, которая начинается от Шпицбергенской зоны разломов, центральную $60 < \lambda < 110$ и восточную $110 < \lambda < 130$. В центральной части эпицентры четко вытягиваются вдоль линии, которая оказывается немного смещена относительно линии, проходящей через восточный и западный фланги хребта. При этом количество землетрясений

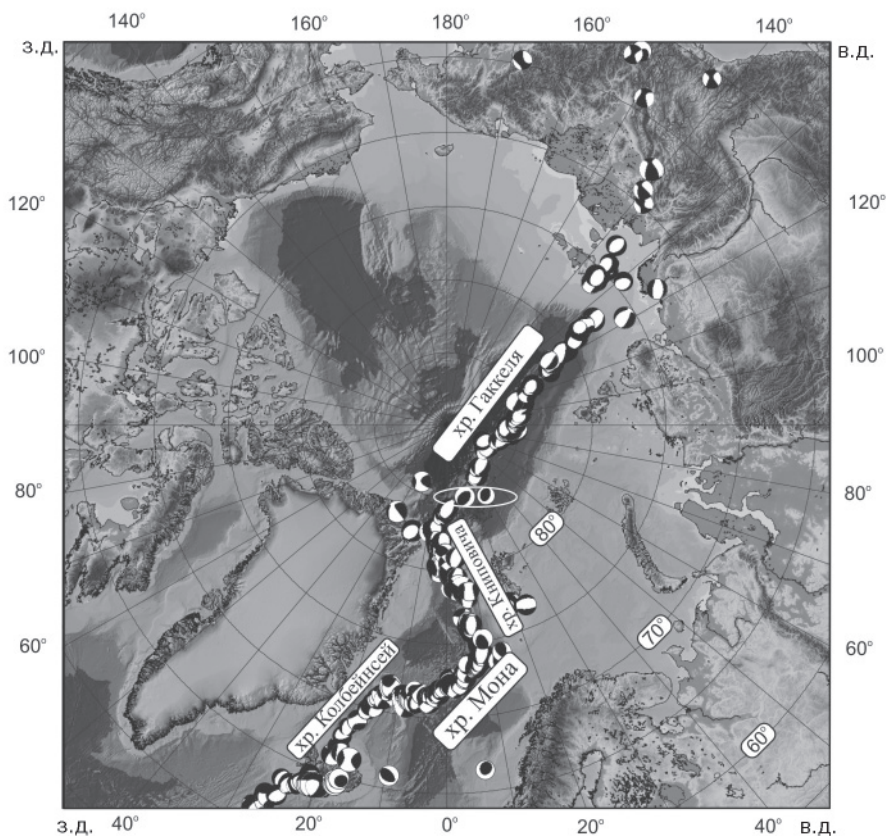


Рис. 1. Диаграммы распределения знаков смещений (beach-ball). Землетрясения с нехарактерными механизмами обведены белой линией

в центральной части на участке в пределах $80 < \lambda < 90$, имеющем $\sim 3\%$ всей длины хребта, составило 30% от общего их числа. Это, по-видимому, говорит о том, что данная узкая зона является центром спрединга. В восточной и особенно западной частях, наоборот, отмечается рассеяние эпицентров вокруг осевой линии хребта. В связи с различием характера сейсмичности анализ механизмов очагов, дающий информацию о распределении напряжений, проводился отдельно для трех участков хребта Гаккеля и хребтов Книповича, Мона и Колбейнсей, итого 6 участков.

Набор геолого-геофизических характеристик, в том числе и распределение эпицентров землетрясений, говорит о том, что геодинамическая обстановка в районе хребтов Мона и Гаккеля определяется единственным процессом – спредингом океанического дна [Аветисов, 1996; Schlindwein et al., 2006; Аветисов, 2009]. Для хребта Книповича наблюдается несколько другая ситуация. Специфику хребта определяет продвигающийся от хребта Мона межплитный раскол, который внедрился не под прямым углом в пределы сложно построенного блока литосферы, аналогичного современному Шпицбергенскому блоку.

В связи с тем, что Центральный Арктический бассейн находится вблизи Северного (географического) полюса, азимуты близко расположенных точек могут сильно различаться. Поэтому нельзя оценивать азимуты главных осей напряжений,

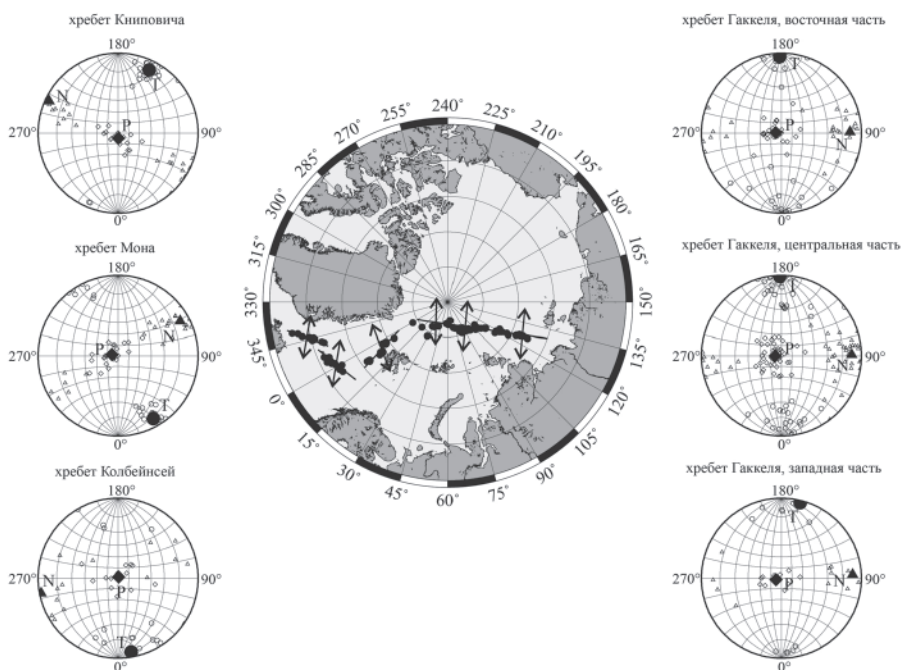


Рис. 2. Положение на стереографической проекции осей сжатия Р (ромбы), растяжения Т (кружки) и промежуточной N (треугольники) на хребтах Колбейнсей, Мона, Книповича и трех участках хребта Гаккеля. Крупными жирными значками отмечены средние значения для соответствующих осей. Стрелками указаны азимуты осей растяжения

характеризующих достаточно большие по величине объемы, — они будут различаться в разных точках объема (точнее в окрестности хребтов). Поэтому для оценки напряженного состояния необходимо преобразовать географическую систему координат в такую сферическую систему, чтобы исследуемый регион оказался бы в ней вблизи экватора. Для этого была написана программа, производящая пересчет азимутов главных осей в систему координат, связанную с хребтами.

Поскольку напряжения связаны с простираем хребтов, для рассмотрения напряжений в окрестности каждого из них производится такое преобразование, чтобы хребет располагался приблизительно вдоль экватора соответствующей системы координат. В этом случае, если ось растяжения перпендикулярна оси хребта, то соответствующие азимуты осей растяжения будут близки к 180° (или 0°) и их среднее значение по совокупности механизмов очагов должно составить как раз эту величину. Очевидно, что при таком преобразовании координат наклон оси не меняется.

По данным механизмов (ориентации осей Т, Р, N) определены средние значения азимутов и углов наклона этих осей для шести выделенных участков. Заметим, что при этом на западном участке хребта Гаккеля отброшены два землетрясения 2006 и 2008 гг., которые дают несогласующиеся положения осей (рис. 1). Первое событие произошло 29.06.2006 и имеет координаты $84,44^\circ$ с.ш. и $29,09^\circ$ в.д. по каталогу Global CMT Project (<http://www.globalcmt.org/>), и его эпицентр находится несколько южнее хребта Гаккеля. Эпицентр второго события (28.05.2008, $84,90^\circ$ с.ш. и $14,20^\circ$ в.д. по тому же каталогу) находится практически на самом хребте. На рис. 1 эти

события отчетливо видны. Оба имеют взбросовый механизм, что крайне нехарактерно для этого региона. Среди всех определенных механизмов очагов, доступных в настоящее время, на хребте Гаккеля больше подобных событий не отмечено.

По каждому участку в отдельности были построены распределения направлений главных осей на сетке Вульфа, взятые из базы данных ВНИИОкеангеология (с 1964 по 2005 г.) [Аветисов и др., 2001] и каталога NEIC (с 2006 по 2010 г.), и определены средние значения направлений каждой оси (рис. 2).

Азимуты осей вычислены относительно направлений, перпендикулярных к осям хребтов. Значения средних азимутов (Az) и наклонов (dip) главных осей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения азимутов и наклонов главных осей на хребтах

Географический район	Ось растяжения (T)		Ось сжатия (P)		Промежуточная ось (N)	
	Az	dip	Az	dip	Az	dip
Хребет Гаккеля (вост. часть)	181	2,3	264	82	91	8,8
Хребет Гаккеля (центр. часть)	181	0,6	272	81	91	7,4
Хребет Гаккеля (запад. часть)	166	1,5	287	82	93	6,6
Хребет Книповича	154	7,3	3	83	245	3
Хребет Мона	29	6,2	258	81	119	6,8
Хребет Колбейнсей	10	3,8	153	88	281	1,3

В среднем оказывается, что ось сжатия во всех случаях практически вертикальна (ее наклон составляет $81-88^\circ$), ось растяжения на хребтах Гаккеля и Колбейнсей можно считать горизонтальной, а на хребтах Книповича и Мона она имеет небольшой наклон. О стабильности осей можно судить по их разбросу для отдельных событий. Видно, что в центральной части хребта Гаккеля этот разброс минимален и индивидуальные значения концентрируются вокруг каждой оси. Это свидетельствует о том, что значения напряжений сжатия и растяжения приблизительно одинаковы по абсолютной величине и мало меняются в этой части, т.е. коэффициент Лоде–Надаи, определяющий соотношение между главными напряжениями, близок к нулю и соответственно близко к нулю промежуточное напряжение. Это говорит о том, что одновременно с растяжением в направлении спрединга существенную роль играет вертикальное напряжение, обусловленное поднятием вещества из недр.

Несколько больший разброс всех осей отмечается на восточном сегменте хребта Гаккеля. На западном сегменте разброс меньше, но следует учесть, что не учитывались данные для двух несогласующихся землетрясений. Средняя ось сжатия на западном сегменте ориентирована уже не строго перпендикулярно хребту, а под некоторым углом. Это, возможно, является результатом влияния системы напряжений на хребте Книповича.

На хребтах Книповича и Мона стабильна ось растяжения T, в то время как оси P и N имеют значительный разброс в плоскости, перпендикулярной оси T. Это означает, что промежуточное напряжение уже не равно нулю, а максимальным по абсолютной величине является напряжение растяжения. Соответственно коэффициент Лоде–Надаи должен быть отрицательным. Оси T на этих двух хребтах не перпендикулярны осям хребтов, что, по-видимому, также является следствием

взаимных влияний систем напряжений на хребтах Гаккеля, Книповича и Мона. На хребте Колбейнсей более стабильной является ось растяжения, которая уже становится почти перпендикулярной оси хребта, тогда как ориентация двух других осей имеет большой разброс, что также свидетельствует о преобладании растяжения на этом хребте.

При такой ориентации главных напряжений смещения на разломах должны иметь сбросовый характер. Это действительно наблюдается на диаграммах распределения знаков смещений (beach-ball) в продольных волнах (рис. 1). Но на хребте Книповича движения имеют несколько другой характер. Простирание хребта Книповича приблизительно ортогонально западной части хребта Гаккеля и хребту Мона, и, казалось бы, он мог бы интерпретироваться как трансформный разлом, на котором следовало бы ожидать движений сдвигового характера. Однако из рис. 1 видно, что движения являются не чистым горизонтальным сдвигом, хотя и имеют значительную сдвиговую компоненту. Это подтверждается еще и тем, что ось растяжения не перпендикулярна хребту, а составляет с ней угол примерно 30° .

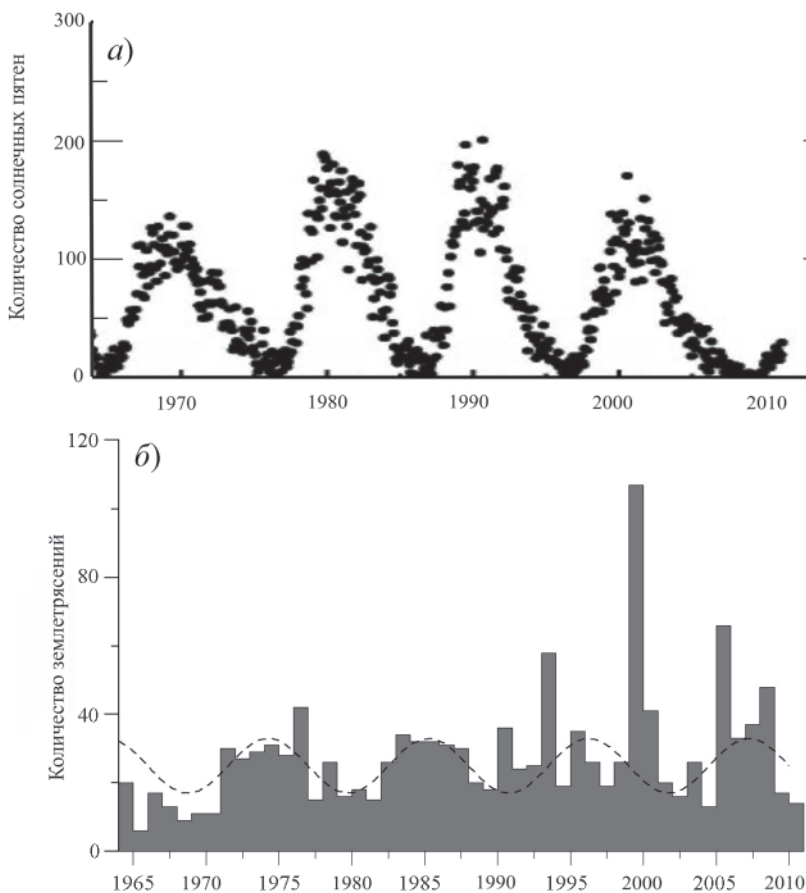


Рис. 3. Гистограмма распределения количества землетрясений с магнитудами более 4,8. Пунктиром нанесена аппроксимация гистограммы синусоидой с периодом 11 лет. На верхнем рисунке для сравнения приведено число солнечных пятен за этот же период времени

На этом хребте, в отличие от других рассмотренных структур, зарегистрировано значительное количество землетрясений, для которых механизм очага определен как горизонтальные подвижки вдоль оси хребта. Именно этим обстоятельством определяется перпендикулярное к осевой линии направление оси растяжения.

Для статистического распределения очагов землетрясений во времени во всем регионе были использованы данные по эпицентрам с сайта службы IRIS для событий с магнитудами от 4,8. На рис. 3 приведена гистограмма распределения количества землетрясений с $M_w > 4,8$ по годам в области $-30 < \lambda < 135$, т.е. содержащей все основные сейсмогенные структуры. Интересно заметить циклические колебания сейсмичности приблизительно через 11 лет. На этом же рисунке нанесена аппроксимирующая это распределение синусоида с периодом 11 лет. Разброс относительно этого распределения отмечается только в цикле с 1991 по 2002 г., в котором число землетрясений резко меняется от года к году и выделяется резкий максимум в 1999 г.

Хорошо известно, что 11-летний цикл имеет место и для активности Солнца. Этот солнечный цикл характеризуется постепенным увеличением числа пятен и последующим быстрым их исчезновением в течение 9–12 лет. Так что можно предположить, что циклическое изменение числа землетрясений может быть связано с активностью Солнца, хотя и неясен механизм этой связи. На рис. 3 для сравнения приведены изменения числа солнечных пятен за тот же период времени – с 1965 по 2010 г. Интересно, что максимуму солнечных пятен соответствует минимум сейсмической активности. Вряд ли можно полагать, что возрастание солнечной активности стабилизирует сейсмическую обстановку, скорее такой эффект может быть в результате запаздывания сейсмической активности относительно солнечной.

ВЫВОДЫ

В результате статистического анализа временного распределения землетрясений в Центральном Арктическом районе выявлен 11-летний цикл сейсмичности, который, возможно, связан с 11-летним циклом солнечной активности. Анализ механизмов очагов указывает на стабильность направления оси сжатия во всем регионе (вертикальное) и ортогональность оси растяжения простиранию хребтов на хребтах Гаккеля, Мона и Колбейнсей, где характер движений в основном сбросовый. На хребте Книповича движения в дополнение к сбросовой содержат сдвиговую компоненту, что может быть обусловлено растягивающими напряжениями, ортогональными хребтам Гаккеля и Мона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аветисов Г.П.* Сейсмоактивные зоны Арктики. СПб.: Изд-во ВНИИОГ, 1996. 183 с.
- Аветисов Г.П.* Некоторые параметры землетрясений Срединно-Арктического сейсмического пояса // Геолого-геофизические характеристики земной коры Арктического региона. 2006. Т. 210. С. 176–187.
- Аветисов Г.П.* Сейсмологические исследования НИИГА-ВНИИОкеангеология в Арктике (история, достижения, перспективы) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 2 (82). С. 27–41.
- Аветисов Г.П., Винник А.А., Копылова А.В.* Модернизированный банк арктических сейсмологических данных // Российский геофизический журнал. 2001. Вып. 23–24. С. 42–48.
- Schlindwein V., Mller C., Jokat W.* Microseismicity of the ultraslow-spreading Gakkell ridge, Arctic ocean: a pilot study // Geophys. J. Int. 2007. № 169. С. 100–112.
- Sinha M.C., Constable S. C., Peirce C., White A., Heinson G., MacGregor L.M., Navin D.A.* Magmatic processes at slow spreading ridges: implications of the RAMESSES experiment at 57° 45' N on the Mid-Atlantic Ridge // Geophys. J. Int. 1998. № 135. С. 731–745.

**THE NEWEST DATA ABOUT SEISMICITY OF THE DEEP-WATER PART
OF ARCTIC OCEAN**

Seismicity of the Arctic region are actively investigated from the second half of the XX century. Using previously published material [Avetisov, 1996; Avetisov, 2006; Avetisov, 2009; Sihna et al., 1998; Schlindwein et al., 2006], as well as new data on earthquake epicenters from the electronic data bank in VNIIOkeangeologia, International Seismologic Center (ISC), International Research Service (IRIS), US Geological Survey (USGS) the orientation of the axes of compression and tension on the Gakkel Ridge, Mona, Kolbeinsey and Knipovicha were analyzed separately. It made possible to identify the main active forces in the area of each of the ridges. As a result of statistical analysis of temporal distribution of earthquakes detected 11-year cycle of seismic activity

Keywords: Arctic, earthquake, focal mechanism, Gakkel ridge, Mona ridge, Knipovich ridge, Kolbeinsey ridge, spreading.