

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА НОРВЕЖСКО-ГРЕНЛАНДСКОГО БАССЕЙНА ПО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ ЗА 1964—1991 гг.

Ю. Г. Кутинов

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова РАН, Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация)

Т. Я. Беленович, З. Б. Чистова, Н. А. Неверов

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова РАН (Архангельск, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 28 февраля 2017 г.

На основе анализа сейсмичности, фокальных механизмов очагов землетрясений, направлений векторов скольжения горных масс проанализирован современный геодинамический режим земной коры северо-западной части (Норвежско-Гренландский бассейн и его обрамление) Арктического срединно-океанического хребта. Сделан вывод о сложном напряженно-деформируемом состоянии земной коры исследуемой территории, которое постоянно меняется во времени и пространстве.

Ключевые слова: Арктика, геодинамика, Арктический срединно-океанический хребет, Норвежско-Гренландский бассейн, Шпицбергенская зона разломов, хребет Книповича, хребет Мона, Ян-Майенская зона разломов, Исландско-Ян-Майенский (Колбейнсей) хребет, сейсмологические данные, фокальные механизмы очагов землетрясений.

Введение

Одной из важнейших составляющих комплекса геолого-геофизических исследований являются сейсмологические наблюдения, которые дают возможность проводить исследования в труднодоступных областях, что особенно актуально для Арктики.

Для решения многих теоретических и практических задач современной геодинамики необходимо получение сведений о параметрах механизмов очагов землетрясений и на их количественной основе данных о напряженно-деформируемом состоянии земной коры региона. Последнее является одним из немногих непосредственных проявлений характера современной тектонической «жизни» любого сейсмоактивного региона, в том числе и Арктического срединно-океанического хребта. В настоящей работе использованы комплекс экспериментальных и расчетных методов тензорного анализа, расчетных формул механики твердого деформируемого тела, а также статистические методы оценки полученных результатов. Достаточно подробно методика расчетов описана в ряде более ранних работ авторов [1; 2 и др.].

Если тектоника изучает строение, развитие и движение масс геосфер, то геодинамика — глубинные силы и напряжения, определяющие условия и механизмы тектонических и иных геологических процессов, а также их взаимосвязи и влияние на них внешних сил [3].

Авторы в данной статье не ставили задачу уточнения границ литосферных плит Арктического бассейна, так как этот вопрос подробно рассмотрен в ряде научных публикаций [4—6 и др.]. Цель настоящих исследований — на основе анализа сейсмичности, фокальных механизмов очагов землетрясений, направлений векторов скольжения горных масс проанализировать современный геодинамический режим земной коры северо-западной части (Норвежско-Гренландский бассейн и его обрамление) Арктического срединно-океанического хребта.

Состояние проблемы

Проблемам сейсмичности и сейсотектоники Арктики посвящено множество публикаций по отдельным регионам, в первую очередь по Арктическому

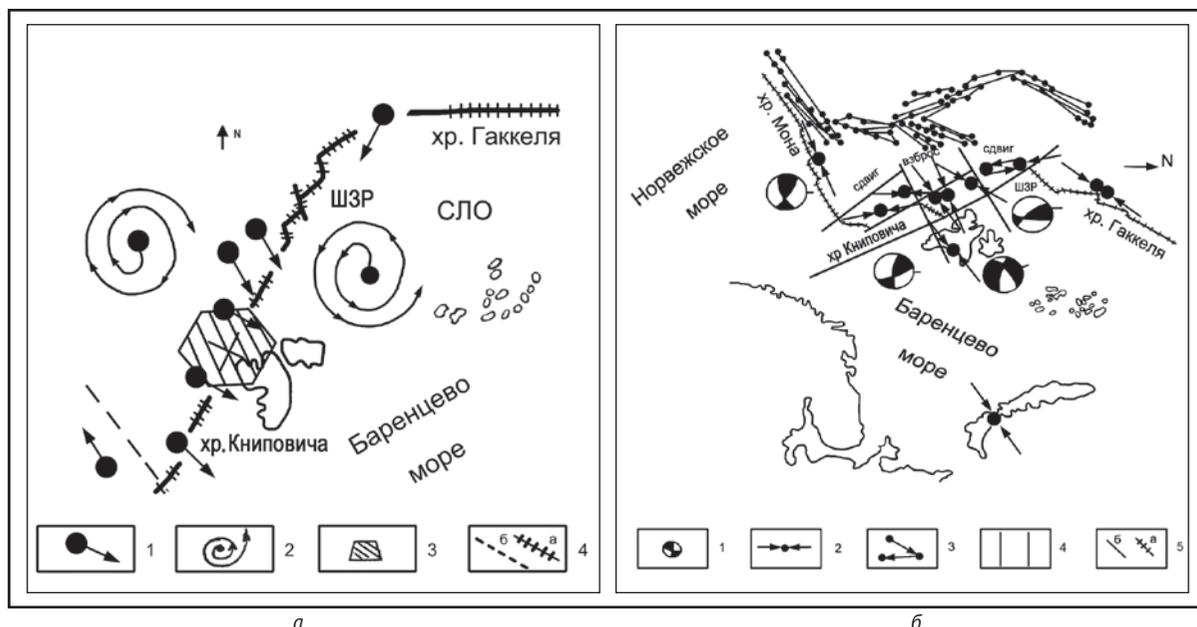


Рис. 1. Сводная схема: *а* – направления векторов смещения горных масс в очагах сильных землетрясений в пределах хребта Книповича и Шпицбергенской зоны разломов (ШЗР) [11–13], *б* – фокальные механизмы и ориентации осей главных нормальных напряжений сжатия в очагах сильных землетрясений в пределах хребта Книповича и Шпицбергенской зоны разломов [9]. На рис. 1а: 1 – направления векторов смещения, 2 – схемы разнотипной (лево- и правосторонней) миграции в очагах слабых ($M = 2,8-3,5$) землетрясений, 3 – расположение предполагаемой зоны «перемычки», 4 – простираение Арктического срединно-океанического хребта (а) и прочих разломов (б), СЛО – Северный Ледовитый океан. На рис. 1б: 1 – фокальные механизмы (в проекции на верхнюю полусферу сетки Вульфа; закрашена область волн сжатия), 2 – ориентация осей сжатия, 3 – направление миграции очагов землетрясений вдоль хребтов Гаккеля, Книповича, Мона и Шницбергенской зоны разломов, 4 – границы, разделяющие участки с различной ориентацией осей сжатия, 5 – простираение Арктического срединно-океанического хребта (а) и прочих разломов (б)

срединно-океаническому хребту. При этом сведения о фокальных механизмах очагов землетрясений на ранней стадии исследования Арктики были ограничены в основном второй половиной 1970-х годов.

Установление на архипелаге Франца-Иосифа сейсмической станции позволило более детально изучать сейсмичность западной части арктического шельфа, в частности Шпицбергенской зоны разломов, хребтов Книповича, Мона и Исландско-Ян-Майенского хребта в пределах Норвежско-Гренландского бассейна. Достаточно полное обобщение их данных содержится в работе Г. П. Аветисова [7], опубликованы каталоги [8], которые использованы в данном исследовании.

Геодинамический режим земной коры северо-западной части Арктической окраинно-континентальной зоны фрагментарно рассматривался рядом авторов и ранее [2; 6; 7; 9–14 и др.]. Для арктических землетрясений известно около 300 решений фокальных механизмов. Однако качественно из них обработано менее 200 событий, так как для ряда из них имеется по пять и более определений разных авторов [7]. Последнее обусловлено малочисленностью работавших в разные периоды сейсмических станций. Открытие в последние годы ряда новых сейсмических станций в Арктике позволило охватить практически полностью западную часть Арктического срединно-океанического хребта.

Полученные нами прежде результаты [1; 2; 9–13] говорят о сложном пространственно-временном взаимодействии геодинамических процессов различных рангов в пределах Северной Евразии, формирующих нелинейную структуру напряженно-деформируемого состояния земной коры, где взаимодействие блоков реализуется в условиях стесненных вращательных движений.

Проведенные ранее [12; 14] исследования по миграции очагов землетрясений в районе архипелага Шпицберген позволили предположить, что в пределах рассматриваемой зоны должны существовать кольцевые структуры, поскольку перемещение эпицентров землетрясений происходит против часовой стрелки от направления на север. При этом автор одной из перечисленных выше работ [14] делает вывод, что в пределах области сочленения Северо-Атлантической и Арктической систем очаги землетрясений мигрировали по полукруговой траектории в направлении по часовой стрелке от севера хребта Книповича до его центральной части, а затем на север к Шпицбергенской зоне разломов.

Анализ данных по миграции очагов землетрясений позволил авторам сделать вывод, что в пределах области сочленения указанных выше систем существует зона (или «перемычка»), относительно которой проявляется разнотипная (лево- или правосторонняя) миграция очагов землетрясений [9].

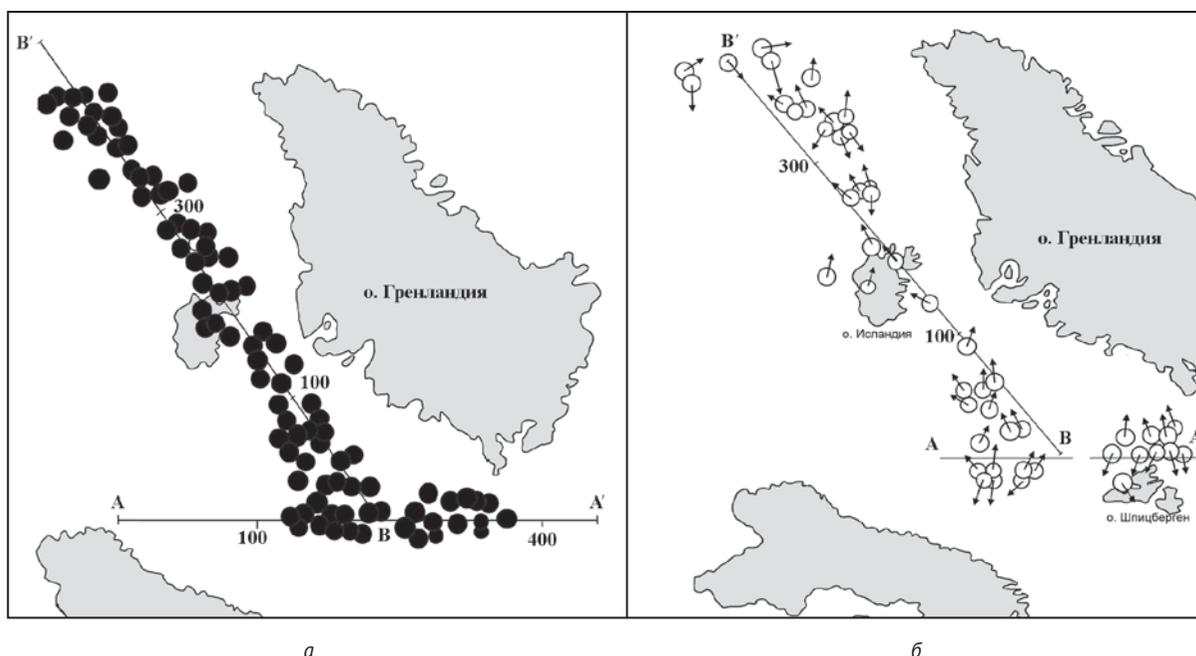


Рис. 2. Карта пространственного распределения: а — эпицентры землетрясений с магнитудой $M = 5,0$ за 1964–1991 гг. вдоль профилей А-А' и В-В', фокальные механизмы очагов, которые использовались в работе; б — направления векторов смещений горных масс в очагах землетрясений

Другими словами, различный разворот блоков по разные от нее стороны (рис. 1а).

Этот вывод подтвердился анализом закономерностей пространственного распределения осей главных нормальных напряжений сжатия. Как видно на рис. 1б, в пределах зоны «перемычки» оси напряжений сжатия ориентированы вкрест простирания хребта (взбросовый тип подвижки в фокальных очагах землетрясений). В блоках с разворотом оси сжатия ориентированы вдоль простирания хребта (типично сдвиговый механизм очага).

Полученная нами ранее модель современной геодинамики Арктического срединно-океанического хребта в целом и хребта Гаккеля в частности [2] позволила сделать вывод о сложном пространственном взаимодействии геодинамических процессов различных рангов, характерном для этой структуры. В частности, хребет Гаккеля имеет сложное слоисто-блоковое строение: на расстоянии 0–100 км на глубине 0–10 км выделяется зона растяжения, на глубине 10–20 км эта же зона является зоной сжатия, на глубине 10 км — левосторонний сдвиг. Далее на глубине 10 км на расстоянии 150–400 км — правосторонний сдвиг. На расстоянии 300 км выделяется зона сжатия. В пределах 150–300 км и на глубине 0–10 км выделяется асейсмичная зона.

Таким образом, в слоисто-блоковой среде послышно, а в отдельных блоках и во времени меняется напряженно-деформированное состояние литосферы, которое напрямую зависит от направления осей сжимающих напряжений.

При этом вполне закономерно возникает вопрос не только и не столько о сегментации Арктического

срединно-океанического хребта в Норвежско-Гренландском бассейне, но об особенностях современного геодинамического режима его «звеньев».

Современная геодинамика Норвежско-Гренландского бассейна

Как уже указывалось, для оценки геодинамического режима использовались оригинальная авторская разработка [15] по расчету векторов скольжения горных масс в очагах землетрясений и комплекс экспериментальных и расчетных методов тензорного анализа и механики трещиноватых сред [1; 2]. В качестве основных структур дна Норвежско-Гренландского бассейна обычно выделяют следующие (по [16]): 1) рифтогенальные срединно-океанические хребты — активные хребты Кольбейнсей и Мона, а также предположительно рифтогенальный, но уже неактивный в настоящее время хребет Аегир в Норвежской котловине; 2) срединно-океаническое Исландское плато и связанный с ним асейсмичный блоковый Ян-Майенский хребет; 3) Гренландскую, Норвежскую и Лофотенскую океанические котловины; 4) подводные континентальные окраины Европы с краевым плато Воринг, поднятием Фареро-Исландского порога — на востоке и Гренландии с поднятием Гренландско-Исландского порога — на западе; 5) трансформно наложенные на эти структуры зоны разломов Книповича и Сенья на севере, Ян-Майенского разлома, разделяющего хребты Мона и Кольбейнсей (с юго-восточным ответвлением), Спар на хребте Кольбейнсей, и гипотетической зоны разлома Тьорнес на северной окраине Исландии. В пределах подводных

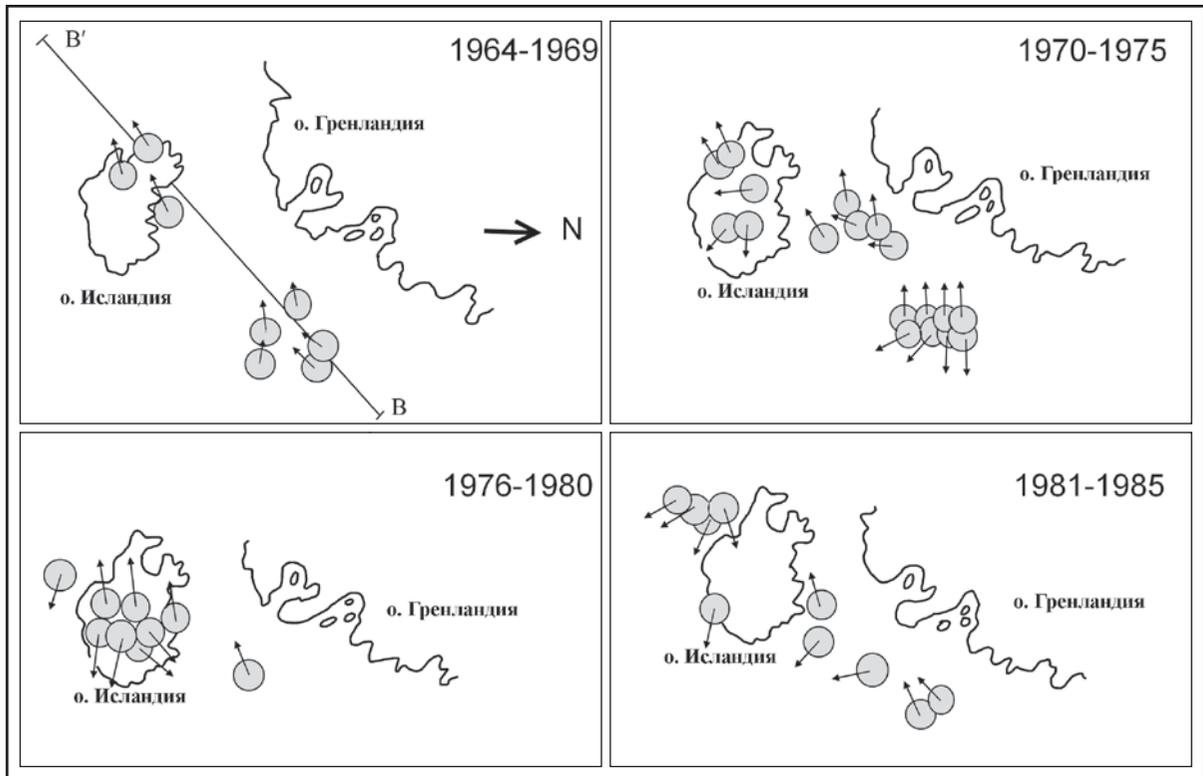


Рис. 3. Карта направлений векторов смещений горных масс в очагах землетрясений с магнитудой $M \geq 5,0$ за указанные периоды

о краин континентов — периокеанические грабены-рифты, дополняющие собой систему океанических рифтов: на востоке грабен Викинг в Северном море, грабен Фареро-Шетландского желоба, Северо-Шетландский грабен, грабен внутренней части плато Воринг, грабен Мёре на шельфе Норвегии, а на западе — грабен Датского пролива и Восточно-Гренландский грабен под шельфом Восточной Гренландии. Нами в данном исследовании рассматривались Исландско-Ян-Майенский (Колбейнсей) хребет, Ян-Майенская зона разломов, хребет Мона, хребет Книповича, Шпицбергенская зона разломов.

С появлением новых данных о фокальных механизмах очагов землетрясений за 1964–1991 гг., опубликованных в каталоге «The Advanced National Seismic System Catalog-ANSS» [8], появилась дополнительная возможность более детального анализа современной геодинамики земной коры запада Арктического срединно-океанического хребта. С применением методики, изложенной в [15], было изучено пространственно-временное распределение векторов смещения горных масс в очагах землетрясений с магнитудой $M \geq 5,0$ как по площади, так и по глубине. Представленные ниже результаты и выводы получены впервые.

На рис. 2 и 3 показаны карта эпицентров землетрясений (рис. 2а) и схема направлений векторов смещений (рис. 2б) исследуемой территории по профилям А-А' и В-В'. Профиль А-А' проходит по Шпицбергенской зоне разломов и хребту Книповича,

профиль В-В' — по хребту Мона, Ян-Майенской зоне разломов и Исландско-Ян-Майенскому (Колбейнсей) хребту.

Были построены карты распределения векторов смещения горных масс в очагах землетрясений за 1964–1969, 1970–1975, 1976–1980, 1981–1985, 1986–1991 гг. по площади и глубине их распределения вдоль указанных профилей (рис. 3). Вдоль профиля А-А' исследовано 115 землетрясений, вдоль профиля В-В' — 132 землетрясения. Данные (глубина и количество землетрясений во времени) сведены в табл. 1 и 2 по каждому профилю отдельно. В таблицах приведены только те землетрясения, для которых определены фокальные механизмы очагов и на их основе установлены векторы максимального смещения горных масс и азимуты их простираия.

При анализе табл. 1 (профиль А-А') отчетливо видно, что из произошедших 115 землетрясений за 1964–1991 гг. на глубине $h = 0–10$ км произошло 102 землетрясения, а на глубине 20 км — всего 12, т. е. о геодинамической обстановке статистически достоверно можно говорить лишь для верхнего слоя земной коры (0–10 км). Аналогичная ситуация наблюдается и вдоль профиля В-В' (см. табл. 2), где из 132 землетрясений на глубине 0–10 км произошло 100.

Нами были построены и проанализированы карты пространственного распределения векторов смещения горных масс в очагах землетрясений и выделены

Таблица 1. Распределение очагов землетрясений по периодам с глубиной по профилю А-А'

h, км	1964—1969	1970—1975	1976—1980	1981—1985	1986—1991
0	19	7	3	3	1
3	2	—	1	1	—
10	33	—	4	19	9
17	—	—	—	1	—
≥ 20	1	—	—	—	—
29	—	—	—	—	1
33	7	3	—	—	—

Примечание. Всего 115 землетрясений. $h = 0$ —10 км — 102, $h = 17$ — 1, $h \geq 20$ — 2, $h = 33$ — 10.

Таблица 2. Распределения очагов землетрясений по периодам с глубиной по профилю В-В'

h, км	1964—1969	1970—1975	1976—1980	1981—1985	1986—1991
0	3	18	7	1	1
3	—	—	—	2	—
5	1	—	1	—	3
10	1	—	15	15	32
20	—	2	1	2	2
33	10	9	4	—	—
35	—	—	—	2	—

Примечание. Всего 132 землетрясения. $h = 0$ —10 км — 100, $h \geq 20$ — 7, $h = 33$ — 23, $h = 35$ — 2.

участки (блоки) одно- и разнонаправленных смещений, а также выделены границы, их разделяющие, за каждые пять лет. Анализ карт показал, что векторы с течением времени на выделенных участках постоянно меняли направление. Стабильное (устойчивое) их направление установить во времени в одном и том же участке даже в течение пятилетнего периода не представлялось возможным. Изменение напряженно-деформируемого состояния земной коры в этих участках, вероятно, было таким сложным, что направление векторов постоянно азимутально менялось с NW на S и с NW на N. При сопоставлении направлений векторов с простираемостью отмеченных выше хребтов отчетливо видно, что последние ориентированы либо вдоль простираемости хребтов, либо вкрест их. Последнее означает, что тип подвижек в очагах землетрясений в этих участках во времени постоянно менялся (сбросо-сдвиги менялись на взбросо-сдвиги, и наоборот). Мозаичность в направлении векторов установлена практически вдоль всех рассмотренных нами структур Норвежско-Гренландского бассейна, что говорит о сложном и неустойчивом современном геодинамическом

состоянии там земной коры в отличие от хребта Гаккеля [2]. Причем пространственно-временные закономерности смены напряженно-деформируемого состояния (в первую очередь из-за недостаточности исходных данных) на период настоящих исследований установить пока не представилось возможным, но оно существует — это установленный факт. Сильные землетрясения $M \geq 5,5$ происходили не на границах хребтов, а на границах разнонаправленных смещений векторов. Границы последних, вероятно, картируют в пределах хребтов блоки с разной геодинамической обстановкой, которая меняется во времени.

Литосфера является открытой системой со сложной иерархически соподчиненной структурой, обменивающейся с окружающей средой веществом и энергией. Нелинейность проявляется в сильных откликах среды на слабые воздействия — это означает взаимосвязь порядка и хаоса. Порядок проявляется в установлении ритмических процессов пространственно-временных характеристик структур, хаос — в исчезновении ритма. При этом катастрофические явления возникают в геомеханических

системах, где возможно в принципе существование положения неустойчивого равновесия, которое также может меняться во времени и пространстве. Вероятно, это и фиксируется.

На рис. 3 представлен фрагмент карты направления векторов смещения горных масс в очагах землетрясений вдоль профиля В-В' в пределах Исландско-Ян-Майенского (Колбейнсей) хребта, который является самым южным участком срединно-океанического хребта, ограниченный Тьюрнес и Ян-Майенской зонами разломов. Карты построены по пятилетним периодам, из них отчетливо видно, что направление векторов во времени меняется. Это, вероятно, связано с различной ориентировкой осей главных нормальных напряжений сжатия и различными типами подвижек в очагах землетрясений, что напрямую влияет на смену напряженно-деформируемого состояния земной коры.

На рис. 4 представлена сводная схема границ разнонаправленных векторов смещения за 1964–1991 гг. вдоль профилей А-А' и В-В'. Как видно из схемы, границы по профилю В-В' ориентированы хаотично (вкрест, вдоль), по профилю А-А' они более упорядоченны и в основном вытянуты вдоль профиля. Последнее означает, что по профилю А-А' (Шпицбергенская зона разломов и хребет Книповича) векторы не меняли ориентацию во времени и были разнонаправлены относительно осевой линии хребтов, представляя собой зону растяжения за исключением отдельных участков (см. рис. 4), где они незначительно изменяли азимутальную ориентировку, не меняя вектор геодинамического режима в целом. В пределах профиля В-В' (хребет Мона, Ян-Майенская зона разломов и Исландско-Ян-Майенский (Колбейнсей) хребет) картина резко отличная. Там наблюдаются границы разнонаправленных векторов, в геодинамическом плане представляющие собой зоны

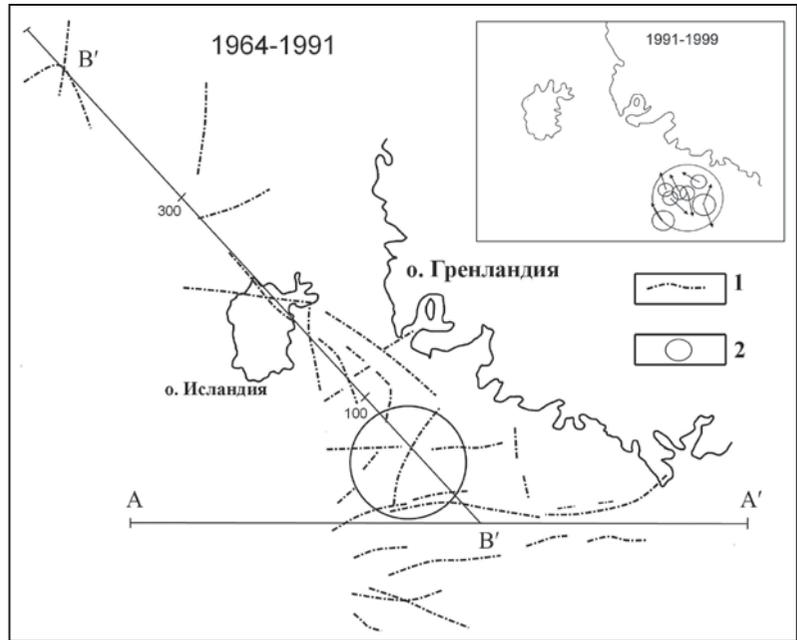


Рис. 4. Сводная схема границ разнонаправленных векторов смещений горных масс в очагах землетрясений за 1964–1991 гг. вдоль профилей А-А' и В-В': 1 – границы разнонаправленных векторов, 2 – участок (блок) пересечения границ разнонаправленных векторов

сжатия и растяжения, сменяющие друг друга во времени и пространстве. Здесь же на схеме выделен участок (блок) пересечения границ разнонаправленных векторов.

На рис. 5 представлены карты распределения векторов смещения горных масс в очагах землетрясений с глубиной их залегания вдоль профилей А-А' за 1964–1969, 1970–1975, 1976–1980, 1981–1985 гг. (рис. 5а) и вдоль профиля В-В' за 1986–1991 гг. (рис. 5б).

Было установлено:

- Вдоль профиля А-А' на глубинах 0–3, 10, 33 км (точность определения глубин — 5 км) во времени стабильно выделяется зона растяжения. И только за 1970–1975 гг. на глубине 33 км и отмеченных выше эпицентральных расстояниях вектор ориентирован веерообразно (т. е. круговое направление перемещения), что говорит о существовании здесь кольцевой структуры. Полученный вывод не окончательный и нуждается в подтверждении другими геофизическими данными и, возможно, снимками из космоса.
- Вдоль профиля В-В' такой стабильно устойчивой картины, как по профилю А-А', не наблюдается. За 1964–1969 гг. из-за малочисленности данных говорить о выделении зон сжатия и растяжения не приходится. И только начиная с 1970 г. такая возможность появилась, но из-за разброса эпицентров по глубине и точности их определения выделенные границы вызывают некоторые сомнения.

Как было указано выше, уверенно можно говорить лишь о границе на глубине 10 км (см. рис. 5б), где за 1976–1991 гг. произошло 62 землетрясения из 132 произошедших за 1964–1991 гг.

Из схемы (см. рис. 5) отчетливо видно, что на эпицентральных расстояниях от 250 до 500 км вдоль профиля В-В' эта граница представляет собой зону растяжения. Кроме того, на эпицентральных расстояниях от 300 до 450 км (разброс 50 км) выделяются участки, где векторы смещения горных масс в очагах землетрясений ориентированы веерообразно, и во времени их направление менялось от N против часовой стрелки.

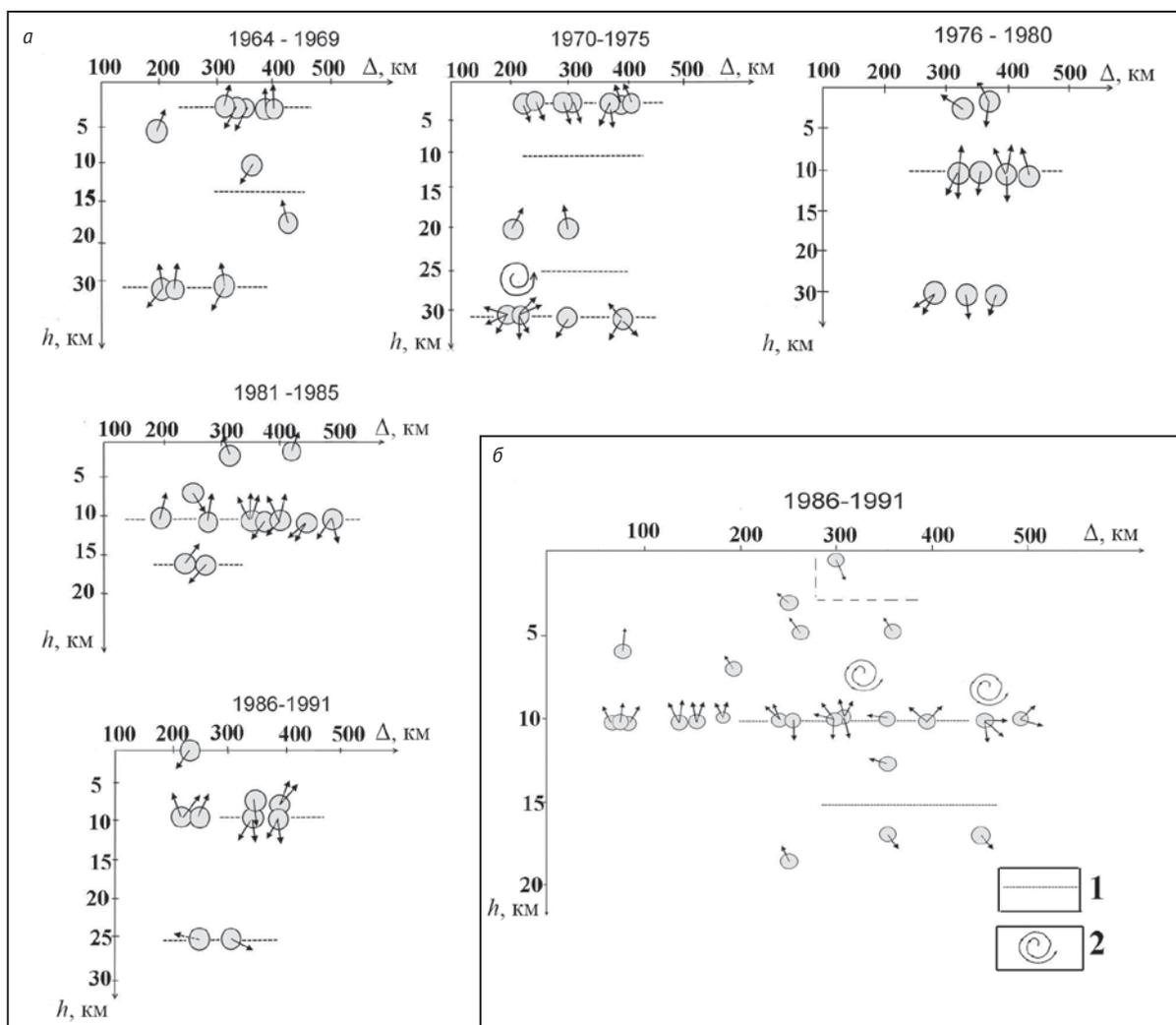


Рис. 5. Схемы распределения векторов смещений в очагах землетрясений с глубиной их залегания: а – вдоль профиля А-А' за указанные периоды; б – вдоль профиля В-В' за 1986–1991 гг.: 1 – вероятные границы раздела разнонаправленных векторов (либо зоны сжатия, либо растяжения), 2 – веерообразное (круговое) направление векторов смещения

По мнению многих исследователей, современная геодинамика литосферы арктического региона определяется в первую очередь взаимодействием двух крупных литосферных плит — Евроазиатской и Северо-Американской. Исследуя направления векторов в пределах Северо-Американской и Гренландской плит относительно Евроазиатской, мы ранее установили, что векторы ориентированы веерообразно с северо-востока (полуостров Аляска) на северо-запад в Гренландское море [9; 10]. То есть, говоря о современной геодинамике Севера Евразии, следует принимать во внимание и смещение самой Гренландской плиты относительно Евроазиатской и Северо-Американской [17]. Современные (за последние 50 лет) данные о сейсмичности свидетельствуют, что смещения по границе между Гренландской и Северо-Американской литосферными плитами активизировались [11]. Анализ направления векторов в пределах рассмотренных литосферных плит в целом позволяет сделать вывод, что их

взаимодействие образует тройное сочленение межплитных границ (возможный полюс вращения, или полюс Эйлера — Eulerian Euler pole) (рис. 6). Полюс вращения — это точка, вокруг которой литосферные плиты вращаются на астеносфере с перемещением друг относительно друга. Возможно, быстрая смена напряженно-деформируемого состояния земной коры обусловлена близостью тройного сочленения межплитных границ (рис. 6).

Таким образом, мы имеем дело со сложной геодинамической системой. Предположение о наличии Арктической геодинамической системы центрального типа было высказано еще в [5] и подтверждено в [17; 18]. Определение систем и правила их исследований изложены в общей теории систем. Система — это множество элементов, приведенных в сложную иерархическую связь друг с другом, образующих неразрывную общность, обособившуюся от окружения и находящуюся с ним в состоянии динамического равновесия [19]. Если система подвергается

какому-нибудь внешнему воздействию, то внутри нее возникают процессы, направленные на подавление, нейтрализацию этого внешнего влияния. Чем сложнее система, тем разнообразнее ее внутренние и внешние взаимодействия и тем выше устойчивость системы для блокирования возмущений.

Следует отметить, что сложные открытые системы не только не пребывают в постоянном стационарном режиме, но не могут долго существовать и в режиме колебательном. Для них характерны так называемые режимы с перемешиванием [18]. Подобные системы не подчиняются линейным закономерностям из-за большого числа внешних и внутренних связей и степеней свободы. Они обнаруживают устойчивость в целом при неустойчивости в каждой точке. В этих локальных неустойчивых системах идет обмен информацией, энергией, веществом с окружающей средой. Макросистемы относятся к системам с неустойчивой динамикой и появляются там, где возникают потенциалы и градиенты. В таких системах нередки катастрофические исходы, так как критические состояния у них весьма чувствительны даже к небольшим возмущениям. То есть такие системы могут иметь разные черты при схожем генезисе и геодинамическом режиме.

В возникновении напряжений и деформаций участвуют силы разной природы [20]: силы давления спредингового хребта; ротационные силы, в том числе и приливные; силы, возникающие за счет подачи энергии из мантии; локальные силы, обусловленные неоднородностью геологической среды. В большинстве случаев соотношение этих сил варьирует, и имеет место интегральный эффект их действия. Причем их воздействие может иметь как постоянный характер, как в случае со стационарным геомеханическим напряжением, так и периодический (квазипериодический, случайный). В последнем случае

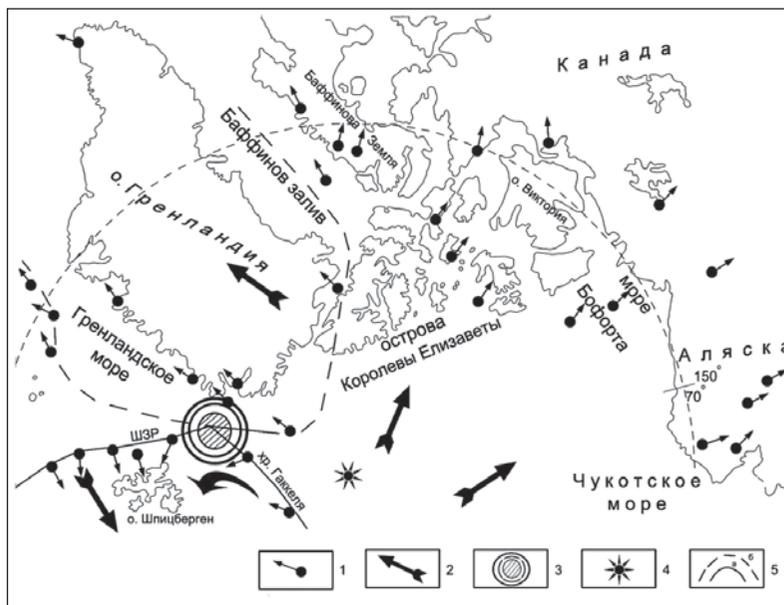


Рис. 6. Схема направления векторов скольжения горных масс в очагах сильных землетрясений ($M \geq 5,0$) в пределах: Северо-Американской, Гренландской и севера Евразийской литосферных плит [11]: 1 – направления векторов, 2 – генерализованное направление векторов в пределах указанных плит, 3 – тройное сочленение межплитных границ (возможный полюс Эйлера), 4 – Северный полюс, 5 – северная граница Евразийской плиты (а), вероятная граница Гренландской плиты (б)

наиболее логично предположить влияние ротационных сил, изменяющих напряженно-деформированное состояние среды и приложение локальных сил, обусловленных неоднородностями среды, обладающей свойством саморегуляции. При этом неоднородная градиентная среда будет стремиться к равновесию и без дополнительного поступления энергии [21] за счет перераспределения энергии посредством колебательных движений.

В [22] показано, что поля напряжений переменны во времени независимо от геодинамических обстановок растяжения или сжатия. Смена полей происходит за короткие промежутки времени от первых десятков до первых лет и вплоть до суточных и менее.

Выводы

За анализируемый период (1964–1991 гг.) исследуемые структуры Норвежско-Гренландского бассейна характеризуются доминированием мелкофокусных землетрясений ($h = 0–10$ км).

В Шпицбергенской зоне разломов и хребте Книповича на глубинах 0–3, 10, 33 км (точность определения глубин — 5 км) векторы во времени не меняли свою ориентацию и были разнонаправленны относительно осевой линии хребтов, представляя собой зону растяжения. И только за 1970–1975 гг. на глубине 33 км и отмеченных выше эпицентральных расстояниях вектор ориентирован веерообразно (т. е. круговое направление перемещения), что говорит о существовании здесь кольцевой структуры.

Вдоль хребта Мона, Ян-Майенской зоны разломов и Исландско-Ян-Майенского (Колбейнсей) хребта картина резко отличается от описанной выше. Здесь наблюдаются границы разнонаправленных векторов, в геодинамическом плане представляющие собой зоны сжатия и растяжения, сменяющие друг друга во времени и в пространстве. На схеме выделен участок (блок) пересечения границ разнонаправленных векторов.

Возможно, такие особенности геодинамического режима связаны с расположением региона на границе Арктической геодинамической системы центрального типа в зоне ее сочленения с Атлантической геодинамической системой и тройным сочленением литосферных плит (Северо-Американской, Гренландской и Евразийской). Особенности функционирования Арктической системы достаточно подробно рассмотрены в работе Ю. Е. Погребницкого [18]. Вопрос этот нуждается в дальнейшем изучении с использованием комплекса геофизических материалов, имеющихся в настоящее время.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы АААА-А16-116061510010-2 «Разработка комплексной физико-геоэкологической количественной модели взаимодействия (литосфера, гидросфера, биосфера, атмосфера и, частично, ионосфера) в районах тектонических узлов севера Русской плиты и оценка их влияния на окружающую среду» и программы Уральского отделения РАН в рамках темы 15-15-5-17 «Отражение проявлений кимберлитового магматизма и зон глубинного нефтегазообразования в современном геодинамическом режиме Арктического сегмента земной коры».

Литература

1. Кутинов Ю. Г., Беленович Т. Я., Чистова З. Б. Современная геодинамика Арктического нефтегазового супербассейна // *Глубин. нефть*. — 2013. — Т. 1, № 9. — С. 1307—1336.
2. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б., Беленович Т. Я., Морозов А. Н. Современная геодинамика хребта Гаккеля по сейсмологическим данным // *Арктика: экология и экономика*. — 2016. — № 4. — С. 58—71.
3. Пуцаровский Ю. М. Строение, энергетика и тектоника мантии Земли // *Вестн. РАН*. — 2005. — Т. 75, № 12. — С. 1115—1122.
4. Арктика на пороге третьего тысячелетия (ресурсный потенциал и проблемы экологии) / Под ред. И. С. Грамберга и Н. П. Лаверова. — СПб.: Наука, 2000. — 247 с.
5. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. — Т. 9: Моря Советской Арктики / Под ред. И. С. Грамберга и Ю. Е. Погребницкого. — Л.: Недра, 1984. — 280 с.
6. Engen Ø., Eldholm O., Bungum H. The Arctic plate boundary // *J. of Geoph. Research*. — 2003. — Vol. 108, B2. — P. 5.1 — 5.17.
7. Аветисов Г. П. Сейсмоактивные зоны Арктики. — СПб.: ВНИИ Океангеология, 1996. — 185 с.
8. The Advanced National Seismic System Catalog-ANSS. — URL: <http://www.ncedc.org/anss/>.
9. Беленович Т. Я., Кутинов Ю. Г. Современный геодинамический режим и напряженно-деформируемое состояние Срединно-Арктического хребта // *Геофизика XXI столетия*. 2007 год: Сб. Трудов Девятого геофизического чтения им. В. В. Федынского. — Тверь: Изд-во ООО ГЕРС, 2008. — С. 16—22.
10. Беленович Т. Я., Кутинов Ю. Г. Геодинамический режим Срединно-Арктического хребта // *Разломообразование и сейсмичность в литосфере*. Тектонофизические концепции и следствия: Материалы Всесоюзного совещания 2009. — Т. 1. — Иркутск, 2009. — С. 86—88.
11. Кутинов Ю. Г., Беленович Т. Я. Геодинамический режим Арктического сегмента по сейсмологическим данным // *Строение, геодинамика и минерогенетические процессы в литосфере: Материалы XI международного научной конференции*. — Сыктывкар, 2005. — С. 206—208.
12. Кутинов Ю. Г., Беленович Т. Я. Современная геодинамическая модель Севера Евразии // *Геофизика XXI столетия*. — Тверь: Изд-во ООО ГЕРС, 2007. — С. 119—124.
13. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б., Беленович Т. Я. Современный геодинамический режим Арктической окраинно-континентальной зоны // *Пространство и время*. — 2014. — № 1 (15). — С. 208—215.
14. Ассиновская Б. А. Землетрясения Баренцева моря. — М.: НГК РАН, 1994. — 126 с.
15. Беленович Т. Я. Современная геодинамика Тянь-Шаня по сейсмологическим данным: Дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / МГУ. — М., 1992. — 291 с.
16. Удинцев Г. Б. Норвежско-Гренландский бассейн: рифтогенез и океанизация // *Доклады XXVII МГК*. — Т. 4. — М.: Наука, 1984. — С. 51—57.
17. Кутинов Ю. Г. Экогеодинамика Арктического сегмента земной коры. — Екатеринбург: УрО РАН, 2005. — 388 с.
18. Погребницкий Ю. Е. Геодинамическая система Северного Ледовитого океана и ее структурная эволюция // *Совет. геология*. — 1976. — № 12. — С. 3—28.
19. Ковалев В. П. Принципы организации и развития материальных систем — методологическая основа истолкования геологической истории литосферы // *Идея развития в геологии: Вещественный и структурный аспекты*. — Новосибирск: Наука, 1990. — С. 190—199.
20. Леонов Ю. Г. Тектоническая подвижность коры платформ: факты и соображения // *Вестн. ОГГН РАН*. — 1997. — № 1. — С. 131—152.
21. Геншафт Ю. С. Внутриплитные факторы тектонической мобильности литосферы платформ // *Геотектоника*. — 1996. — № 4. — С. 13—24.
22. Кропоткин П. Н., Ефремов В. Н., Макеев В. М. Напряженное состояние земной коры и геодинамика // *Геотектоника*. — 1987. — № 1. — С. 20—24.

Информация об авторах

Беленович Таисия Яковлевна, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова РАН (163000, Россия, Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23), e-mail: belenovichtya@yandex.ru.

Кутин Ю. Григорьевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова РАН (163000, Россия, Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23), директор, Центр космического мониторинга Арктики Северного (Арктического) федерального университета им. М. В. Ломоносова (163002, Россия, Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17), e-mail: kutinov@fciarctic.ru.

Неверов Николай Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова РАН (163000, Россия, Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23), e-mail: na-neverov@yandex.ru.

Чистова Зинаида Борисовна, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова РАН (163000, Россия, Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23), e-mail: zchistova@yandex.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Кутин Ю. Г., Беленович Т. А., Чистова З. Б., Неверов Н. А. Современная геодинамика Норвежско-Гренландского бассейна по сейсмологическим данным за 1964—1991 гг. // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 3 (27). — С. 28—38. DOI 10.25283/2223-4594-2017-3-28-38.

MODERN GEODYNAMICS OF THE NORWEGIAN-GREENLAND BASIN ON SEISMOLOGICAL DATA FOR THE PERIOD 1964-1991 YEARS

Kutinov Yu. G.

N. Laverov Federal Centre for Integrated Arctic Research, Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russian Federation)

Belenovich T. Ya., Chistova Z. B., Neverov N. A.

N. Laverov Federal Centre for Integrated Arctic Research (Arkhangelsk, Russian Federation)

Abstract

On the basis of seismicity, focal mechanisms of earthquake, vectors of the slip of rock masses analyzed modern geodynamic regime of the Earth's crust in the North-Western part of (the Norwegian-Greenland Basin and its framing) Arctic Mid-Ocean Ridge. The authors concluded that the complex stress-state acting within the Earth's crust study area, which constantly changes across time and space.

Keywords: Arctic, Geodynamics, Arctic Mid-Ocean Ridge, the Norwegian-Greenland Basin, Svalbard Fracture zone, Knipovich Ridge, Mona Ridge, Jan-Mayan area of faults, Icelandic-Jan-Mayan (Ridge Kolbeinsey) Ridge, seismological data, the focal mechanisms of the seismic centers.

The reported study was funded by FANO Russia according to the research project № AAAA A16-116061510010-2 «Development of integrated physical and environmental quantitative interaction model (lithosphere, hydrosphere, biosphere, atmosphere and ionosphere) in areas of tectonic nodes north of Russian plates and evaluation of their impact on the Environment» and RAS according to the research project № 15-15-5-17» Reflection of kimberlite's magmatism taxon and oil-and gas deep zone in the modern Geodynamics Arctic segment of Earth's crust»

References

1. Kutinov Yu. G., Belenovich T. Ya., Chistova Z. B. Sovremennaya geodinamika Arkticheskogo neftegazononogo superbasseyna. [Contemporary Geodynamics of Arctic Oil and Gas-bearing Super-basin]. Glubin. neft, 2013, Vol. 1, no. 9, pp. 1307—1336. (In Russian).
2. Kutinov Yu. G., Chistova Z. B., Belenovich T. Ya., Morozov A. N. Sovremennaya geodinamika khrebtа Gakkelyа po seysmologicheskim dannym. [Modern geodynamics of Gakkel Ridge according to seismological data]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2016, no. 4, pp. 58—71. (In Russian).
3. Pushcharovskiy Yu. M. Stroyeniye. energetika i tektonika mantii Zemli. [Structure, energy and tectonics mantle]. Vestn. RAN, 2005, Vol. 75, no. 12, pp. 1115—1122. (In Russian).
4. Arktika na poroge tretyego tysyacheletiya (resursnyy potentsial i problemy ekologii. [Arctic on the Threshold of the Third Millennium (resource Potential and the Problem of Ecology)]. Pod red. I. S. Gramberga i N. P. Laverova. St Petersburg, Nauka, 2000, 247 p. (In Russian).
5. Geologicheskoye stroyeniye SSSR i zakonmernosti razmeshcheniya poleznykh iskopayemykh. T. 9. Moryа Sovetskoy Arktiki. [Geology of the USSR and regularity properties of minerals. Vol. 9. Sea of the Soviet Arctic]. Pod red. I. S. Gramberga i Yu. E. Pogrebitskogo. L., Nedra, 1984, 280 p. (In Russian).
6. Engen Ø., Eldholm O., Bungum H. The Arctic plate boundary. J. of Geoph. Research, 2003, Vol. 108. B2, P. 5.1—5.17.

7. Avetisov G. P. Seismoaktivnyye zony Arktiki. [Seismoactive Zones of the Arctic]. St Petersburg, VNI Okeanogeologiya, 1996, 185 p. (In Russian).
8. The Advanced National Seismic System Catalog-ANSS. Available at: <http://www.ncedc.org/anss/>.
9. Belenovich T. Ya., Kutinov Yu. G. Sovremennyy geodinamicheskiy rezhim i napryazhenno-deformiruyemoye sostoyaniye Sredinno-Arkticheskogo khrebta. [Contemporary Geodynamic Regime and the Stress Deformed State of Mid-Arctic Ridge]. Geofizika XXI stoletiya. 2007 god. Sb. Trudov Devyatykh geofizicheskikh chteniy im. V. V. Fedynskogo. Tver, izd-vo OOO GERS, 2008, pp. 16—22. (In Russian).
10. Belenovich T. Ya., Kutinov Yu. G. Geodinamicheskiy rezhim Sredinno-Arkticheskogo khrebta. [Geodynamic Regime of Mid-Arctic Ridge]. Razlomoobrazovaniye i seysmichnost v litosfere. Tektonofizicheskiye kontseptsii i sledstviya: Materialy Vsesoyuznogo soveshchaniya 2009, Vol. 1. Irkutsk, 2009, pp. 86—88. (In Russian).
11. Kutinov Yu. G., Belenovich T. Ya. Geodinamicheskiy rezhim Arkticheskogo segmenta po seysmologicheskim dannym. [Geodynamic regime Arctic segment by seismological data]. Stroyeniye. geodinamika i mineragenicheskiye protsessy v litosfere: Materialy XI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Syktyvkar, 2005, pp. 206—208. (In Russian).
12. Kutinov Yu. G., Belenovich T. Ya. Sovremennaya geodinamicheskaya model Severa Evrazii. [Contemporary Geodynamic Model of North Eurasia]. Geofizika XXI stoletiya. Tver, Izd-vo OOO GERS, 2007, pp. 119—124. (In Russian).
13. Kutinov Yu. G., Chistova Z. B., Belenovich T. Ya. Sovremennyy geodinamicheskiy rezhim Arkticheskoy okrainno-kontinentalnoy zony. [Contemporary geodynamic regime of the Arctic continental marginal perioceanic zone]. Prostranstvo i vremya, 2014, no. 1 (15), pp. 208—215. (In Russian).
14. Assinovskaya B. A. Zemletryaseniya Barentseva morya. [Earthquake in the Barents Sea]. Moscow, NGK RAN, 1994, 126 p. (In Russian).
15. Belenovich T. Ya. Sovremennaya geodinamika Tyan-Shanya po seysmologicheskim dannym. [Modern Geodynamics Tien Shan on seismological data]. Dis. ... d-ra geol.-mineral. nauk. MGU. Moscow, 1992, 291 p. (In Russian).
16. Udintsev G. B. Norvezhsko-Grenlandskiy basseyn: riftogenez i okeanizatsiya. [Norwegian-Greenland Basin: rifting and oceanization.]. Doklady XXVII MGK. Vol. 4. Moscow, Nauka, 1984, pp. 51—57. (In Russian).
17. Kutinov Yu. G. Ekogeodinamika Arkticheskogo segmenta zemnoy kory. [Eco-geodynamics of the Arctic Segment of the Earth's Crust]. Ekaterinburg, UrO RAN, 2005, 388 p. (In Russian).
18. Pogrebitskiy Yu. E. Geodinamicheskaya sistema Severnogo Ledovitogo okeana i eye strukturnaya evolyutsiya. [Geodynamic System of the Arctic Ocean and its structural evolution]. Sovet. geologiya, 1976, no. 12, pp. 3—28. (In Russian).
19. Kovalev V. P. Printsipy organizatsii i razvitiya materialnykh sistem — metodologicheskaya osnova istolkovaniya geologicheskoy istorii litosfery. [Principles of organization and development of material systems-framework interpretation of geological history of the lithosphere]. Ideya razvitiya v geologii: Veshchestvennyy i strukturnyy aspekty. Novosibirsk, Nauka, 1990, pp. 190—199. (In Russian).
20. Leonov Yu. G. Tektonicheskaya podvizhnost kory platform: fakty i soobrazheniya. [Tectonic crustal mobility platforms: facts and considerations]. Vestn. OGGGN RAN, 1997, no. 1, pp. 131—152. (In Russian).
21. Genshaft Yu. S. Vnutriplitnyye faktory tektonicheskoy mobilnosti litosfery platform. [Inside plate factors tectonic mobility lithosphere platforms]. Geotektonika, 1996, no. 4, pp. 13—24. (In Russian).
22. Kropotkin P. N., Efremov V. N., Makeyev V. M. Napryazhennoye sostoyaniye zemnoy kory i geodinamika. [Stress state of the Earth's crust and Geodynamics]. Geotektonika, 1987, no. 1, pp. 20—24. (In Russian).

Information about the authors

Belenovich Taisiya Yakovlevna, Doctor of Sciences (Geology, Mineralogy), Senior Researcher, Federal research center for Integrated study of the Arctic of RAS (3, Sadovaya St., Arkhangelsk, 163000, Russia), e-mail: belenovichtya@yandex.ru.

Kutinov Yuriy Grigoryevich, Doctor of Sciences (Geology, Mineralogy), Chief Researcher, Federal research center for Integrated study of the Arctic of RAS (23, Severnaya Dvina St., Arkhangelsk, 163000, Russia), Director, Arctic Space Monitoring Center of Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov (17, Severnaya Dvina St., Arkhangelsk, 163000, Russia), e-mail: kutinov@fciarctic.ru.

Neverov Nikolay Aleksandrovich, Ph. D. (Agriculture), Senior Researcher, Federal research center for Integrated study of the Arctic of RAS (23, Severnaya Dvina St., Arkhangelsk, 163000, Russia), e-mail: na-neverov@yandex.ru.

Chistova Zinaida Borisovna, Ph. D. (Geology, Mineralogy), Head of laboratory, Federal research center for Integrated study of the Arctic of RAS (23, Severnaya Dvina St., Arkhangelsk, 163000, Russia), e-mail: zchistova@yandex.ru.

Bibliographic description

Kutinov Yu. G., Belenovich T. Ya., Chistova Z. B. Neverov N. A. Modern Geodynamics of the Norwegian-Greenland Basin on seismological data for the period 1964—1991 years. The Arctic: ecology and economy, 2017, no. 3 (27), pp. 28—38. (In Russian). DOI 10.25283/2223-4594-2017-3-28-38

© Kutinov Yu. G., Belenovich T. Ya., Chistova Z. B. Neverov N. A., 2017