

Анализ современных тектонических режимов Лаптевоморского блока (Арктический сектор территории Якутии)

Л.П.ИМАЕВА (Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН); 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128; Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН); 677980, г. Якутск, проспект Ленина, д. 39),

Б.М.КОЗЬМИН (Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН); 677980, г. Якутск, проспект Ленина, 39),

В.С.ИМАЕВ, В.И.МЕЛЬНИКОВА, А.И.СЕРЕДКИНА (Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН); 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128; Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН); 677980, г. Якутск, проспект Ленина, д. 39)

Рассмотрены особенности сейсмотектонической деструкции земной коры в слабоизученном Лаптевоморском блоке Арктического сектора территории Якутии. По степени активности и направленности геодинамических процессов на шельфе моря Лаптевых и в прилегающих континентальных районах выделены два региональных сегмента (Восточно-Лаптевский и Лено-Таймырский), развивающиеся в схожих тектонических условиях. Проанализированы их структурно-тектоническое положение, глубинное строение, системы активных разломов, а также поля тектонических напряжений, установленные по данным фокальных механизмов сильных землетрясений и типов разрывных деформаций. На основе параметров механизмов сильных землетрясений рассчитаны средние тензоры сейсмотектонических деформаций. Это позволило наряду со структурно-тектоническими и геолого-геофизическими сведениями выявить в пределах Лаптевоморского блока области основных и переходных режимов напряженно-деформированного состояния земной коры.

Ключевые слова: Арктический сектор, Лаптевоморский и Лено-Таймырский региональные сегменты, активные разломы, парагенезисы активных структур, фокальный механизм землетрясения, средний тензор сейсмотектонических деформаций, режимы напряженно-деформированного состояния земной коры.

Имаева Людмила Петровна
Козьмин Борис Михайлович
Имаев Валерий Сулейманович
Мельникова Валентина Ивановна
Середкина Алена Игоревна



imaeva@crust.irk.ru
b.m.kozmin@diamond.ysn.ru
imaev@crust.irk.ru
vimel@crust.irk.ru
ale@crust.irk.ru

Analysis of modern tectonic regimes of the Laptev Sea block (Arctic sector of Yakutia)

L.P.IMAEVA., B.M.KOZ'MIN, V.S.IMAEV, V.I.MEL'NIKOVA, A.I.SEREDKINA

Features of seismotectonic destruction of the Earth's crust in poorly studied Laptev Sea block of the Arctic area of Yakutia are discussed. Based on the activity level and direction of geodynamic processes proceeding on the Laptev Sea shelf and the adjacent continental areas, two regional segments (the Eastern Laptev Sea and the Lena-Taimyr) are identified, which are developing in similar tectonic conditions. Analysis was made of their structural-tectonic setting, deep structure, active fault systems as well as tectonic stress fields determined from the focal mechanism solutions for strong earthquakes and from the types of rupture deformations. Based on the parameters of strong earthquakes mechanisms, average tensors of seismotectonic deformations are calculated. Along with the available structural-tectonic and geological-geophysical data, this made it possible to establish the areas of main and transitional regimes of the stress and deformed state of the Earth's crust in Laptev Sea block.

Key words: Arctic sector, the Eastern Laptev Sea and the Lena-Taimyr regional segments, active faults, parageneses of active structures, earthquake focal mechanism, average tensor of seismotectonic deformations, regimes of the stress and deformed state of the Earth's crust.

Арктический сектор Якутии территориально включает юго-восточное окончание срединно-арктического хр. Гаккеля, континентальный склон, шельфы морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, а также сопряженные структуры побережья. Здесь океанический бассейн контактирует с шельфами Восточно-Арктических морей, где выделяются Лаптевоморский (I), Восточно-Арктический (II) и Новосибирский (III) блоки, представляющие краевую систему структур между континентом и океаном [2] (рис. 1). Рассматриваемый район – один из ключевых для познания эволюции зоны взаимодействия Евразийской и Североамериканской плит [8, 17]. Здесь сопрягаются активизированные структуры Сибирской платформы Северо-Азиатского кратона, а также Таймырской, Верхояно-Колымской и Новосибирско-Чукотской покровно-складчатых систем [2, 10]. Спрединговый хр. Гаккеля и разделяемые им океанические котловины Нансена и Амундсена при подходе к континентальному склону образуют торцовое сочленение с краем континента (см. рис. 1). Значительную часть территории Арктического сектора занимает Лаптевоморский блок [8, 17], где в сеймотектоническом плане выделяются следующие наиболее активные участки: юго-восточный фланг хр. Гаккеля, Восточно-Лаптевский и Лено-Таймырский сегменты, а также развиты характерные парагенезисы тектонических структур с определенным типом напряженного состояния земной коры.

Комплексные исследования, результаты которых приведены в статье, направлены на выявление характерных закономерностей процессов сеймотектонической деструкции земной коры и динамики формирования очаговых зон сильных землетрясений Лаптевоморского блока в пределах двух его сегментов: Восточно-Лаптевском и Лено-Таймырском. Необходимость анализа новейшей позднекайнозойской (позднеплиоцен-четвертичной) структуры изучаемой территории определялась тем, что новейшая тектоника представляет собой тот структурный каркас, где взаимосвязаны активные разломы и другие проявления современной тектонической деятельности, обусловившие высокий уровень сейсмической опасности в данном регионе.

Восточно-Лаптевский сегмент. Сегмент занимает восточную часть шельфа моря Лаптевых от Усть-Ленского грабена до Новосибирских островов. По данным сейсмопрофилирования установлено, что в его пределах развита система узких грабенов и прогибов северо-западного простирания (Усть-Ленский, Усть-Янский, Чондонский, Бельковско-Святоносский и др.) (см. рис. 1), имеющих длину до 250 км при ширине 40–60 км и совокупность подводных поднятий между ними [1, 5 – 7, 10, 13]. Наиболее яркий элемент рифтовой системы – меридиональный Усть-Ленский грабен, которому в рельефе дна соответствует одноименная депрессия. Он протягивается на 400–420 км к северу от южной оконечности залива Буор-Хая. Ширина грабена

в северной части достигает 150–170 км, постепенно сужаясь к югу до 40 км в средней части залива. Структура грабена на всем протяжении ограничена серией северо-западных, а также субширотных сбросо-сдвигов с амплитудой вертикального смещения до 0,3–1,0 км. Суммарная амплитуда погружения фундамента в осевой части грабена может достигать 10 км мощности его осадочного заполнения [10]. Восточно-Лаптевский сегмент характеризуется особым рисунком распределения геофизических полей в пространстве. Так, его поле силы тяжести на шельфе представлено системой линейных градиентных зон северо-западного и субдолготного простираний, вытянутых от континентального склона к побережью. Среди них выделяются ряд узких линейных минимумов, разделённых максимумами. При этом в плане минимумы пространственно тяготеют к выделенным рифтовым впадинам. В частности, Бельковско-Святоносскому грабену в поле силы тяжести соответствует отрицательная линейная аномалия до 20 мГл, по своей конфигурации в точности повторяющая его очертания и соседнего с ним Ляховского рифта [12]. Напротив, магнитное поле в восточной части шельфа моря Лаптевых практически однородно в отличие от резкой полосовой картины магнитных аномалий, характерной для линейной структуры срединно-арктического хр. Гаккеля, поэтому рифтовые впадины здесь не находят своего отражения [12].

Разрывные нарушения в пределах Восточно-Лаптевского сегмента, несомненно, связаны с формированием окраинно-континентальной рифтовой системы, возникшей и развивавшейся в кайнозой на продолжении хр. Гаккеля. Они контролируют границы грабенов и детальную структуру их внутренних частей. Здесь выделяется два основных типа разломов: субдолготные и северо-западные сбросы и субортогональные им сдвиги и сбросо-сдвиги северо-восточного и близширотного простираний [8, 17].

С северо-запада континентальный склон моря Лаптевых пересекает линейная полоса эпицентров землетрясений шириной до 80 км, пространственно тяготеющая к структурам срединно-океанического хр. Гаккеля. На шельфе она становится диффузной, расширяясь до 600 км и охватывая пространство между полуостровом Таймыр, дельтой р. Лена и Новосибирскими островами (см. рис. 1). Местные сейсмические события приурочены в основном к системе сбросов, ограничивающих рифтогенные грабены на востоке шельфа моря Лаптевых, и сопряженные структуры побережья. С начала XX в. здесь отмечено свыше 500 очагов землетрясений магнитудой 4,5–7,0 на глубинах 4–36 км в пределах земной коры [1, 8].

На фоне диффузной сейсмичности шельфа выделяется главная субдолготная (северо-западная) зона с повышенной плотностью эпицентров землетрясений, к которой тяготеют все крупные сейсмические события магнитудой 5,0–6,4. Она фиксируется к юго-востоку от хр. Гаккеля в направлении Янского залива моря

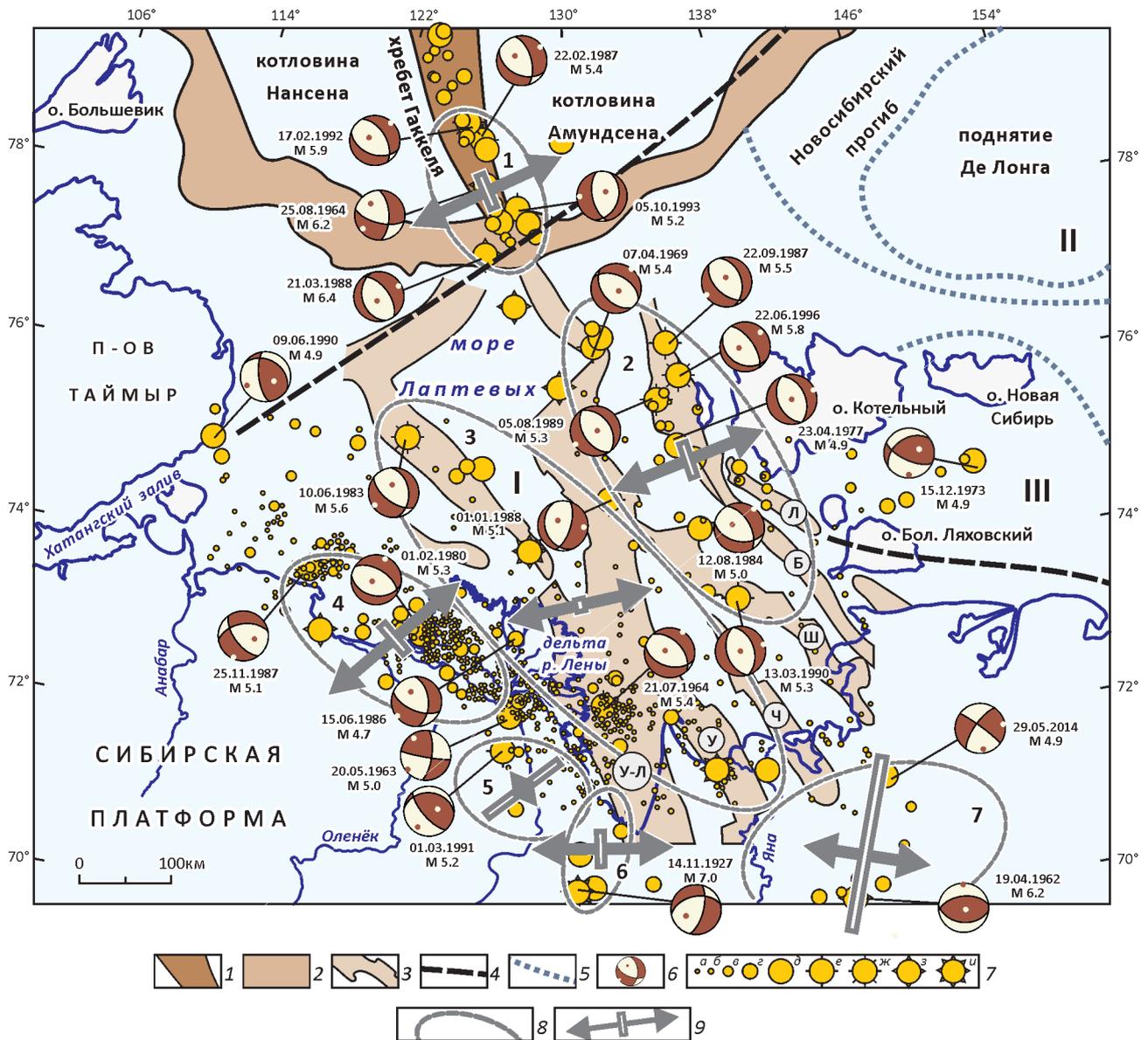


Рис. 1. Схема сейсмотектоники Лаптевоморского сегмента. По работе [17] с изменениями и дополнениями:

1 – срединный хребт Гаккеля; 2 – континентальный склон; 3 – грабены дна моря Лаптевых (буквы в кружках): Б – Бельковско-Святоносский, Л – Ляховский, Ш – Широстонский, Ч – Чондонский, У – Усть-Янский, У-Л – Усть-Ленский; 4 – предполагаемые трассы активных разломов; 5 – границы крупных прогибов и поднятий; 6 – фокальные механизмы сильных землетрясений в проекции нижней полусферы с датой (число, месяц, год) и магнитудой, положение осей напряжений сжатия и растяжения обозначены черными и белыми точками соответственно; 7 – эпицентры землетрясений магнитудой (М): а – $\geq 3,0$, б – 3,5, в – 4,0, г – 4,5, д – 5,0, е – 5,5, ж – 6,0, з – 6,5, и – 7,0 соответственно (данные ГС СО РАН и ГС РАН); 8 – группа расчета STD (см. таблицу); 9 – горизонтальная проекция главных осей деформаций: удлинения (расходящиеся стрелки) и укорочения (белая линия); краевые блоки: I – Лаптевоморский, II – Восточно-Арктический, III – Новосибирский

Лаптевых, обозначая границу между Евразийской и Североамериканской плитами. Очаги землетрясений этой зоны сосредоточены, главным образом, внутри рифтовых впадин или тяготеют к их бортам. Реже они фиксируются в пределах подводных поднятий, разделяющих названные впадины.

Для изучения напряженно-деформированного состояния земной коры производилась реконструкция полей тектонических напряжений на основе параметров фокальных механизмов арктических землетрясений $M \geq 4,8$ (см. рис. 1). При этом привлекались как собственные решения [19], так и данные о тензоре

сейсмического момента и центроиде событий из каталога Global CMT и механизмы очагов землетрясений из «Бюллетеня международного сейсмологического центра (ISC)» [22, 23]. В итоге были проанализированы фокальные механизмы 19 сильных землетрясений магнитудой 4,9–6,4, произошедших на юго-востоке хр. Гаккеля и в Восточно-Лаптевском сегменте. В указанных районах наблюдается устойчивое поле тектонических напряжений растяжения, ориентированное субширотно, вкрест простирания основных структурных элементов, а подвижки в очагах землетрясений соответствуют сбросам. Эти сведения указывают на то, что режим растяжения, связанный с динамикой раскрытия срединно-арктического хр. Гаккеля, распространяется далеко за пределы его юго-восточного окончания вплоть до прибрежных районов континента [8, 21].

Лено-Анабарский сегмент. К территории названного сегмента отнесена западная часть шельфа моря Лаптевых от Усть-Ленского грабена до полуострова Таймыр. Она представлена протяжёнными мезо-кайнозойскими толщами Лено-Анабарского краевого прогиба, который структурно разграничивает Лаптевоморскую рифтовую систему Арктического сектора и Сибирскую платформу. В качестве основных тектонических элементов здесь выделяются Анабаро-Хатангская седловина, Оленёкский сектор Верхоянского складчато-надвигового пояса, Лено-Анабарский прогиб, Оленёкское поднятие (рис. 2). Северо-восточнее располагаются структуры, входящие в систему Усть-Ленского прогиба и Хараулахского сегмента [8, 17].

Наиболее активна здесь фронтальная зона Оленёкского сектора, протягивающаяся вдоль побережья моря Лаптевых на 500 км в широтном направлении от устья р. Лена до Хатангского залива. Она представлена серией кулисно расположенных складок запад-северо-западного простирания. Считается, что складки и надвижки формировались в мезозое под влиянием субширотных левосдвиговых перемещений вдоль северной окраины Сибирской платформы. Здесь в устье р. Оленёк закартирован Тумульский надвиг, по которому триасовые и верхнепермские толщи взброшены на юрские отложения южного крыла Северной синклинали, а также и Дюлюнгский взброс (устьевая часть р. Лена), где верхнепермские породы взброшены на нижнетриасовые [8, 17]. Несмотря на древний возраст заложения перечисленных разрывных нарушений, в современную эпоху они активны, о чём свидетельствуют приуроченные к зонам их динамического влияния очаги местных землетрясений. Вероятно, что к северу структуры сектора имеют продолжение на мелководном шельфе моря Лаптевых, где его ограничением может служить полоса высокоградиентных положительных гравитационных аномалий.

Гравитационное поле Лено-Анабарского сегмента представляет собой систему небольших чередующихся

линейных положительных и отрицательных аномалий разной интенсивности, ориентированных субширотно вдоль береговой линии Оленёкского залива моря Лаптевых [3, 12]. Так, в районе дельты р. Лена и прилегающих участков суши наиболее ярко выражены Быковский, Оленёкский и Чекановский максимумы, а также минимумы – Усть-Ленский и дельты р. Лена.

Наиболее интересно Быковское поле гравитационных аномалий с интенсивным максимумом северо-западного простирания, соответствующее крупному выступу древних высокоплотных пород фундамента [3, 8]. Оно вытянуто узкой полосой вдоль Быковской протоки и существенно расширяется в дельте р. Лена, где обособляется в отдельный блок. Другая крупная положительная Оленёкская аномалия смещена на 100 км к западу от Быковской, охватывая дельту р. Оленёк и прилегающий участок шельфа моря Лаптевых до устья Оленёкской протоки. К западу она продолжается Анабарской зоной пониженной интенсивности гравитационного поля в виде ряда малых по контурам аномалий северо-западной ориентировки, близкой к простиранию Оленёкской зоны складок [3]. В районе Анабарского залива наблюдается отчетливая виргация гравитационных аномалий. Одна ветвь, сохраняя широтное направление, пересекает устье р. Анабар и затухает. Другая меняет простирание на субмеридиональное и, огибая о. Большой Бегичев, протягивается к полуострову Таймыр.

При этом восточная часть названного острова охвачена дислокациями, указывающими на то, что данная ветвь аномалий совпадает с полосой позднемеозойской складчатости. Всё это свидетельствует о том, что Оленёкский сектор Лено-Анабарского сегмента распространён к северу в западной части шельфа моря Лаптевых, где он участвует в строении позднемеловой-кайнозойской рифтовой системы. Можно полагать, что данная структура в наземном выражении определяет фронт крупной позднемеозойской Верхояно-Колымской покровно-складчатой зоны, которая в окрестностях дельты р. Лена меняет субдолготное простирание на субширотное. Далее на запад зона прослеживается под мощным чехлом Южно-Лаптевского рифтового прогиба до её сочленения с Южно-Таймырской складчатой системой.

К Лено-Анабарскому сегменту тяготеет Лено-Таймырская зона землетрясений, которая прослеживается в субширотном направлении от дельты р. Лена через Оленёкский и Анабарский заливы моря Лаптевых к острову Большой Бегичев и далее к полуострову Таймыр (см. рисунки 1 и 2). За период инструментальных наблюдений в Лено-Таймырской зоне было отмечено около 400 местных землетрясений $M \leq 2,5-5,3$. Эпицентры фиксируются на прибрежных участках суши и в море до 120 км к северу от береговой линии Оленёкского и Анабарского заливов. Сейсмические события происходят здесь в пределах земной коры на глубине 10–30 км [14].

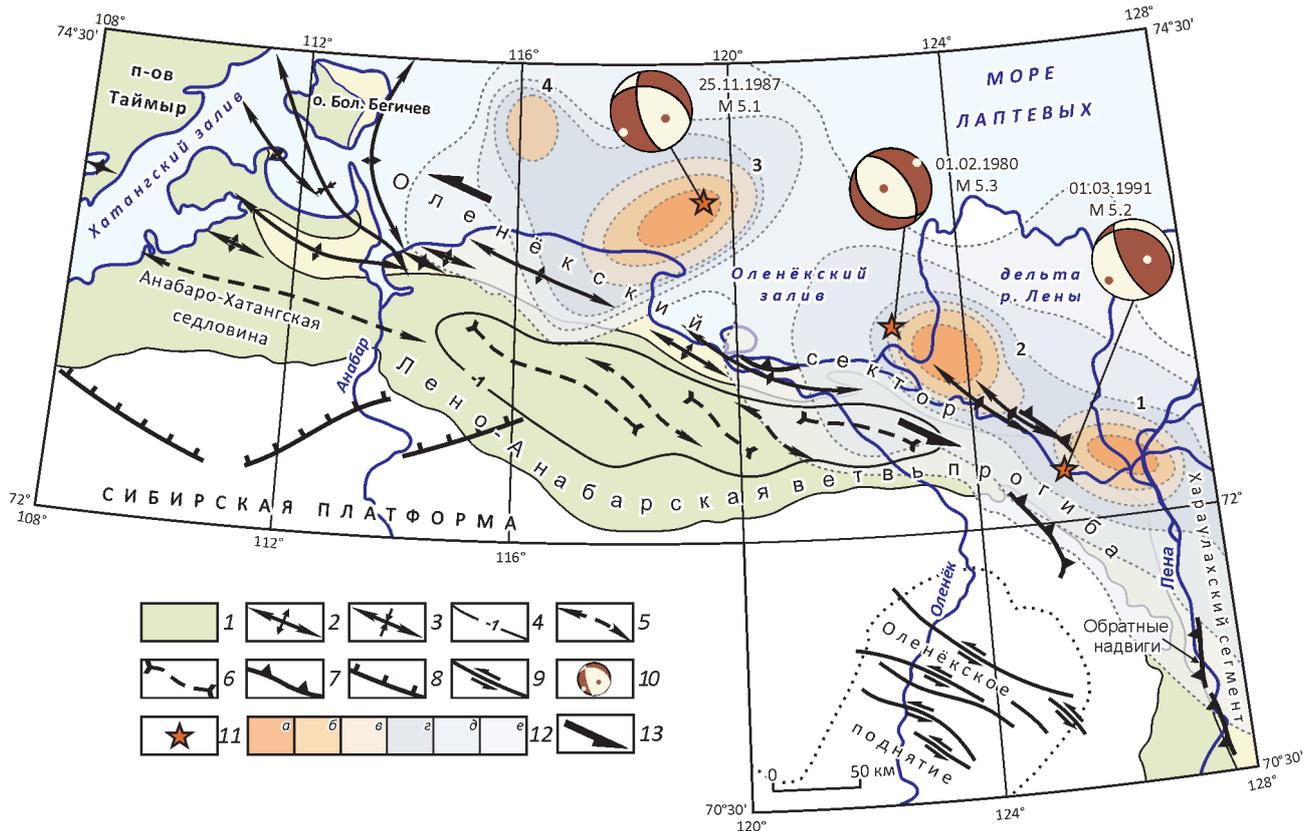


Рис. 2. Схема сейсмотектоники Оленёкского сектора Лено-Анабарского сегмента. По работе [17] с изменениями и дополнениями:

1 – континентальные нижнемеловые отложения; оси: 2 – антиклиналей и 3 – синклиналей; 4 – изогипсы подошвы нижнего мела; оси конседиментационных: 5 – валов и 6 – впадин; 7 – надвижки; 8 – сбросы; 9 – сдвиги; 10 – фокальные механизмы сильных землетрясений в проекции нижней полусферы с датой (число, месяц, год) и магнитудой, положение осей напряжений сжатия и растяжения обозначены черными и белыми точками соответственно; 11 – местоположение эпицентра землетрясения; 12 – плотность эпицентров землетрясений (число событий на $1^\circ \times 1^\circ$): а – 26–30, б – 21–25, в – 16–20, г – 11–15, д – 6–10, е – 1–5; 13 – относительное перемещение блоков земной коры; расчёт плотности выполнен по данным каталога землетрясений ГС СО РАН и ГС РАН; 1–4 – максимумы плотности эпицентров: 1 – Быковский, 2 – Оленёкский, 3 – Терпай-Тумсинский, 4 – Анабарский

Внутри этой зоны выделяются несколько максимумов плотности эпицентров землетрясений (число событий на единицу площади) (см. рис. 2). Самые значительные из них – Быковский (1) в дельте р. Лена, Оленёкский (2) в устье Оленёкской протоки, Терпай-Тумсинский (3) вблизи п-ова Терпай-Тумса и Анабарский (4) напротив устья р. Анабар с плотностью, достигающей 26–30 подземных толчков на площадку на $1^\circ \times 1^\circ$ (см. рис. 2). Все сейсмические максимумы приурочены к коровой неоднородности, хорошо диагностируемой в геофизических полях, и совпадают по простиранию с контурами аномалий поля силы тяжести различных значений [3].

В настоящее время для западной части шельфа моря Лаптевых и прилегающих районов имеются решения для 6 фокальных механизмов землетрясений. В пределах Лено-Таймырской зоны действует режим растя-

жения земной коры с небольшой сдвиговой компонентой. Большинство местных землетрясений происходит в основном в результате сбросовых подвижек в очаге (см. рис. 2), как и в Восточно-Лаптевском сегменте (см. рис. 1), но есть и различия. Так, в фокусе Восточно-Лаптевских землетрясений уверенно фиксируются субширотные напряжения растяжения, действующие ортогонально к местным структурным элементам, в то время как для Лено-Таймырских сейсмических событий направление вектора растяжения в очаге изменяется с субширотного на северо-восток–юго-западное.

Наибольший интерес представляет фокальный механизм землетрясения 1990 г., отмеченного на восточном окончании п-ова Таймыр, решение которого существенно отличается от механизмов всех сейсмических событий, зарегистрированных вдоль побережья Оленёкского залива и в дельте р. Лена (см. рисунки 1 и 2).

Он был рассчитан по наблюдениям 26 региональных сейсмических станций России, скандинавских, европейских и китайских сейсмостанций. Особенно надежно были определены знаки первых вступлений продольной волны сжатия на сейсмограммах близких временных сейсмических станций, действовавших в 1987–1990 гг. в этом районе. Кроме того, для определения очаговых параметров Таймырского землетрясения были использованы его записи на широкополосных каналах LHZ и LHT цифровых сейсмических станций сетей Global Seismograph Network, China Digital Seismograph Network, Seismic Research Observatory [22]. Для анализа привлекались только сейсмограммы с высоким отношением сигнал/шум и нормальной поляризацией. Всего были отобраны записи четырех сейсмостанций, расположенных в разных азимутах от эпицентра рассматриваемого события в интервале эпицентральных расстояний 3800–5000 км. Стереодиаграмма Таймырского землетрясения показывает, что в его очаге реализовались пологая и субвертикальная плоскости разрывов северо-западного и субмеридионального простираний с подвижкой типа надвига и взброса соответственно, при этом гипоцентр толчка располагался на глубине 15 км (см. рис. 1).

Таким образом, распределение поля тектонических напряжений по данным фокальных механизмов землетрясений в Лено-Таймырской зоне свидетельствует о том, что оно неоднородно. Сейсмический процесс развивается здесь как в условиях растяжения (дельта р. Лена и побережье Оленёкского и Анабарского заливов), так и обстановки сжатия (п-ов Таймыр). Такое разнообразие решений фокальных механизмов объясняет различный кинематический спектр разрывных нарушений (сбросы, взбросы, сдвиги и их модификации), который картируется в данном регионе. Следует отметить, что выявление тектонического режима сжатия на Таймыре по сейсмологическим данным согласуется с материалами геолого-структурных изысканий, полученных при геологической съемке [4]. Этот результат подтверждают и скорости видимого поднятия побережья моря Лаптевых, установленные по длительным рядам наблюдений за уровнем Мирового океана. За примерно 10-летний период измерений средние скорости современного тектонического поднятия для п-ова Таймыр составили $+(1-2)$ мм/год [15].

Кайнозойская геодинамика и сейсмотектонические деформации. Напряжения и деформации, возникающие в недрах литосферы, частично отражаются в проявлениях сейсмичности, параметры которой могут указывать на интенсивность и направленность современных геотектонических процессов. Часть информации о напряженном состоянии земных недр может быть получена из данных о механизмах очагов землетрясений [9, 20]. В последние годы успешно используются методы расчета параметров сейсмотектонических деформаций (СТД), основанные на статистическом

анализе характеристик разломов, возникших при подвижках в очагах землетрясений [9, 11, 18]. В отличие от инверсионных схем оценок тензора напряжений (стресс тензора), распространенных за рубежом [20], изучение пространственных закономерностей кинематики деформирования сейсмоактивной области путем расчета параметров СТД является тектонофизически более обоснованным, так как учитывает энергетический вклад в деформацию каждого сейсмического события. Существующая база данных о механизмах очагов коровых землетрясений Лаптевоморского блока Арктического сектора территории Якутии позволяет использовать методику расчета СТД для получения представлений о современном характере сейсмотектонического деформирования земной коры данного региона и выявления причинно-следственных связей между тектонической структурой и интенсивностью современных сейсмических процессов.

Реконструкция СТД в сейсмоактивном объеме земной коры, в котором произошли подвижки в результате землетрясений, осуществлялась по методу С.Л.Юнги [18]. Расчет искомым параметров выполнялся в различных макроточках выбранной области, затем результирующее поле сглаживалось и подвергалось дальнейшему анализу. Параметры СТД оценивались средним тензором деформаций, который вычислялся как произведение тензора среднего механизма на сумму сейсмических моментов землетрясений, нормированную по объему и модулю сдвига. Неслучайность результатов расчета параметров СТД для выделенных районов оценивалась путем сравнения значений коэффициента интенсивности χ ($0 \leq \chi \leq 1$), отражающего степень соответствия результирующего тензора и тензора индивидуального механизма, с его критическими значениями при уровне накопленной вероятности 95% [18].

Для расчета и анализа параметров СТД послужили решения механизмов очагов 41 арктического землетрясения ($M \geq 3,5$) за период 1927–2014 гг., заимствованные из каталогов международных сейсмологических центров [22, 23] и литературных источников [21]. Большая часть решений была получена путем расчета тензора сейсмического момента, остальные по знакам первых вступлений объемных сейсмических волн. Выбор сейсмоактивного объема земной коры определялся площадным распределением эпицентров землетрясений со средней глубиной очага в 20 км. Таким образом, из общего числа сейсмических событий было выделено 7 групп пространственно близких землетрясений. Согласно методике [16, 18] осреднение исходных данных осуществлялось по методу «узловых точек». Результаты расчета параметров СТД для выделенных сейсмоактивных областей приведены в таблице и на рис. 1.

Расчет параметров СТД по сейсмологическим данным позволил определить направления главных осей деформаций и характер напряженного состояния выделенных сейсмоактивных объемов земной коры для

Параметры расчета и режимы сейсмотектонических деформаций (СТД) Арктического сектора территории Якутии

Номер группы	Координаты узловых точек		Географическая привязка области расчета СТД	N	χ	Режим СТД	Тектонический режим
	Северная широта	Восточная долгота					
1	78,47	126,0	Юго-восточный фланг хребта Гаккеля – континентальный склон	10	0,73	Растяжение	Рифтогенез
2	75,01	135,0	Бельковско-Святоносский грабен	10	0,86		
3	73,5	130,0	Усть-Янский грабен	4	0,83		
4	72,9	122,8	Оленёкский сектор Лено-Анабарского сегмента	3	0,79		Транстенсия
5	71,4	127,2	Северо-западный фланг Верхоянской складчатой системы	5	0,51	От вертикального режима к сжатию	Транспрессия
6	70,5	130,0	Хараулахская сбросо-сдвиговая зона	4	0,74	От вертикального режима к растяжению	Транстенсия
7	70,0	139,2	Складчатая система хребта Полоусный	5	0,82	От сдвига к сжатию	Коллизионная зона (сжатие)

Примечание. N – число фокальных механизмов, используемых при расчете; χ – коэффициент интенсивности среднего механизма, отражающий степень соответствия результирующего тензора и тензора индивидуального механизма (пределы изменения: $0 \leq \chi \leq 1$), по методике из работы [18].

Арктического сектора территории Якутии и соседних структур сейсмотектонической зоны Черского (см. рис. 1 и таблицу). Установлено, что в зависимости от геодинамической обстановки в региональных сегментах на рассматриваемой территории существуют различные деформационные режимы. Так, на юго-восточном фланге хребта Гаккеля, в центральной части Восточно-Лаптевского сегмента и на его восточной границе (Ляховский грабен), а также в Лено-Анабарском сегменте доминирует тектонический режим растяжения. В данных структурах главные оси напряжений растяжения действуют вкрест простирания основных тектонических элементов при пологих углах погружения в северо-восток–юго-западном направлении (см. таблицу, группы 1–4).

Переходные деформационные режимы (см. таблицу, группы 5–6) наблюдаются в пределах северо-западного фланга Верхоянской складчатой системы (от вертикального режима к сжатию) и Хараулахской структурной зоне (от вертикального режима к растяжению). В группе 5 существенен вклад в общую деформационную обстановку сжимающих усилий при ориентации близгоризонтальной оси сжатия на северо-восток–юго-запад и развитием взбросо-сдвигов. В то же время в группе 6, напротив, господствуют горизонтальные растягивающие усилия, действующие в широтном направлении, с преобладанием здесь сбросо-сдвигов. Окончательная смена режима растяжения земной коры на сжатие происходит южнее Хараулахской зоны, в пределах северо-западного фланга сейсмотектонической зоны Черского (хр. Полоусный, группа 7). Следует отметить высокую степень соответствия результирующего тензора, найденного путем расчета параметров СТД, в соотношении с тензорами индивидуальных фокаль-

ных механизмов (χ 0,51–0,86), что свидетельствует о надёжности выполненных расчётов (см. таблицу).

В итоге, применение разных методов сейсмотектонического анализа дало возможность обосновать в исследуемом регионе выделение 7 динамических районов с определённым тектоническим режимом и соответствующим кинематическим типом напряженно-деформированного состояния земной коры. Практически весь Лаптевоморский блок и часть прибрежных участков вплоть до 72°с.ш. находятся в области активного рифтогенеза. Южнее на участке взаимодействия Евразийской и Североамериканской плит между 70-й и 72-й параллелями доминирует переходный деформационный режим со смешанным полем тектонических напряжений, где в зоне влияния межплитной границы отмечаются одновременно элементы разрывной тектоники типа как транспрессии, так и транстенсии. И наконец, ещё юго-восточнее на северо-западном фланге системы хр. Черского наблюдается инверсия тектонического режима, где растяжение земной коры сменяется сжатием, вызвавшим коллизию упомянутых литосферных плит (см. таблицу).

Таким образом, анализ динамики сейсмического процесса и развития очаговых зон сильных землетрясений на основе СТД позволил провести структурно-динамическое районирование Арктического сектора территории Якутии и сопряженных структур зоны хр. Черского. Впервые с помощью инструментальных методов было выделено 7 динамических районов и соответствующий им кинематический тип напряженно-деформированного состояния земной коры. Установлены основные и переходные деформационные режимы СТД и соответствующие им тектонические аналоги (см. таблицу).

Особое значение имеет обоснование границ транзитной территории со смешанным полем тектонических напряжений (Северное Верхоянье и Яно-Индибирская низменность), где начинается смена обстановки растяжения на сжатие, и затухает процесс рифтогенеза. Именно сюда тяготеет ряд крупных сейсмических катастроф прошлого столетия, в том числе известные Булунские землетрясения 1927–1928 гг. с интенсивностью в эпицентре до 7–10 баллов. Это дает основание использовать полученные результаты данной работы при уточнении и детализации карты сейсмического районирования Российской Федерации следующего поколения.

Исследования выполнены по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект 0381-2014-0002. По проекту РНФ № 15-17-20000 профинансированы работы по расчету СТД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аветисов Г.П.* Сейсмоактивные зоны Арктики. – С-Пб: ВНИИОкеанология, 1996.
2. *Андиева Т.А.* Тектоническая позиция и основные структуры моря Лаптевых // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. № 3. С. 1–28.
3. *Геология, сейсмичность и мерзлотные процессы Арктических районов Западной Якутии* // М.Н.Григорьев, В.С. Имаев, Л.П.Имаева и др. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1996.
4. *Геологическая карта Горного Таймыра. Масштаб 1:1 500 000. Объяснительная записка.* – Красноярск: ПГО «Красноярскгеология», 1986.
5. *Граммберг И.С., Деменицкая Р.М., Секретов С.Б.* Система рифтогенных грабенов шельфа моря Лаптевых как недостающего звена рифтового пояса хребта Гаккеля–Момского хребта // Докл. АН СССР, 1990. Т. 311. № 3. С. 689–694.
6. *Драчев С.С.* Тектоника рифтовой континентальной окраины моря Лаптевых // Геотектоника. 2000. № 6. С. 43–58.
7. *Иванова Н.М., Секретов С.Б., Шкарубо С.И.* Данные о геологическом строении шельфа моря Лаптевых по материалам сейсмических исследований // Океанология. 1989. Т. XXIX. Вып. 5. С. 789–795.
8. *Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М.* Сейсмотектоника Якутии. – М.: ГЕОС, 2000.
9. *Костров Б.В.* Механика очага тектонического землетрясения. – М.: Наука, 1975.
10. *Объяснительная записка к Тектонической карте морей Карского и Лаптевых и севера Сибири (М-б 1:2,5 млн.)* / Н.А.Богданов, В.Е.Хаин, О.М.Розен и др. – М.: Ин-т литосферы и внутренних морей РАН, 1998.
11. *Ребецкий Ю.Л.* Тектонические напряжения и прочность горных массивов. – М.: Наука, 2007.
12. *Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология* // Под ред. Д.А.Додина, В.С.Суркова. – С-Пб: ВНИИОкеангеология, 2002.
13. *Секретов С.Б.* Геологическое строение Лаптевоморского шельфа по материалам сейсмических исследований МОВ ОГТ // Автореф. дис. канд. геол.-минер. наук. – С-Пб: ВНИИОкеанология, 1993.
14. *Современная сейсмическая активность территории Якутии* / С.В.Шибасев, А.Ф.Петров, Б.М.Козьмин, К.В.Тимиршин // Мат-лы 15-ой Всерос. конф. с междунар. участием «Геологические опасности». – Архангельск: Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 2009. С. 657–661.
15. *Стовас М.В.* Молодое тектоническое поднятие побережья морей Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского // Докл. АН СССР. 1965. Т. 161. № 1. С. 193–194.
16. *Сычева Н.А., Богомолов Л.М., Юнга С.Л.* Геоинформатика в статистическом подходе к расчетам сейсмотектонических деформаций // Геоинформатика. 2009. № 1. С. 33–43.
17. *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия).* – М.: Наука, 2001.
18. *Юнга С.Л.* Методы и результаты изучения сейсмотектонических деформаций. – М.: Наука, 1990.
19. *Fujita K., Koz'min B.M.* Seismicity of the Amerasian Arctic shelf and its relationship to tectonic features // 1992 Proc. Int. Conf. on Arctic Margins / Eds. Thurston D.K., Fujita K. – Anchorage: 1994. Pp. 307–312.
20. *Global crustal stress pattern based on the World Stress Map data base release* / O.Heidbach, M.Tingay, A.Barth et al. // Tectonophysics. 2008. 482 (1–4). 2010. 3–15.
21. *Seismotectonics of the Chersky seismic belt, eastern Russia (Yakutia) and Magadan district, Russia* / K.Fujita, B.M.Kozmin, K.G.Mackey et al. // Geology, geophysics and tectonics of Northeastern Russia: a tribute to Leonid Parfenov. 2009. Stephan Mueller Spec. Publ. 2009. Ser. 4. Pp. 117–145.
22. www.isc.ac.uk
23. www.seismology.harvard.edu