

УДК 550.34

## ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ В ЛАПТЕВОМОРСКОМ РЕГИОНЕ СОГЛАСНО НОВЕЙШИМ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

© 2023 г. А. А. Крылов<sup>1,2,3,\*</sup>, Академик РАН Л. И. Лобковский<sup>1,2,3</sup>, С. А. Ковачев<sup>1</sup>, Б. В. Баранов<sup>1</sup>,  
Д. Д. Рукавишников<sup>1</sup>, Н. В. Цуканов<sup>1</sup>, К. А. Дозорова<sup>1</sup>, член-корреспондент РАН И. П. Семилетов<sup>2,3</sup>

Поступило 19.07.2023 г.

После доработки 14.08.2023 г.

Принято к публикации 16.08.2023 г.

Представлены результаты анализа механизмов очагов и общего распределения эпицентров землетрясений в Лаптевоморском регионе. Для четырех групп скопления событий с известными механизмами очагов рассчитаны направления осей главных напряжений методом формальной инверсии напряжений. Выполнено сравнение распределений эпицентров землетрясений и мощности коры. Выявлено, что по сейсмологическим данным продолжение оси растяжения хребта Гаккеля на шельфе моря Лаптевых в настоящее время находится в окрестности группы срывов растяжения, вытянутой вдоль восточной границы цепи рифтов Анисин, Заря и Бельковско-Святоносский. Более древняя ось растяжения, расположенная вдоль группы срывов, маркирующих восточную границу системы Усть-Ленского и Омолейского рифтов, и продолжающая ось хребта Гаккеля, в настоящее время гораздо менее активна, реализуя остаточные напряжения вблизи ее пересечения с Хатанга-Ломоносовской зоной разломов в северо-западной части шельфа и с Лено-Таймырской зоной пограничных поднятий — в юго-западной. Вблизи дельты р. Лена оси растяжения ориентированы вдоль Оленекской и Быковской протоков и границы Сибирской платформы, формируя условия растяжения в восточной части и сдвиговый режим в западной части окрестности дельты р. Лена.

**Ключевые слова:** Восточная Арктика, море Лаптевых, землетрясения, механизмы очагов, метод формальной инверсии напряжений, ось растяжения, срыв растяжения

**DOI:** 10.31857/S2686739723601783, **EDN:** ZPSWAN

Развитие глобальных и региональных сетей сейсмостанций, улучшение их регистрационных возможностей, а также накопление результатов локальных экспедиционных работ, приводит к возможности более детального изучения труднодоступных регионов, каким является и Лаптевоморский регион. Находясь с одной стороны на границе Евразийской и Североамериканской плит, а с другой стороны — в области перехода от оси спрединга хребта Гаккеля к континентальному рифтингу на шельфе моря Лаптевых, данный регион представляет особый интерес с сейсмологической и геодинамической точек зрения, что отразилось в проведении в последние годы ряда морских экспедиционных исследований [1–4]. Цели этих экспедиций включали в том числе и

поиск взаимосвязи явления массивированного выхода метана из морских осадков с сеймотектоническими процессами в регионе [5]. Результаты наблюдений с помощью донных сейсмостанций, наряду с актуальными каталогами глобальных и региональных сетей, выявили ряд новых закономерностей в распределении эпицентров землетрясений на шельфе моря Лаптевых [6].

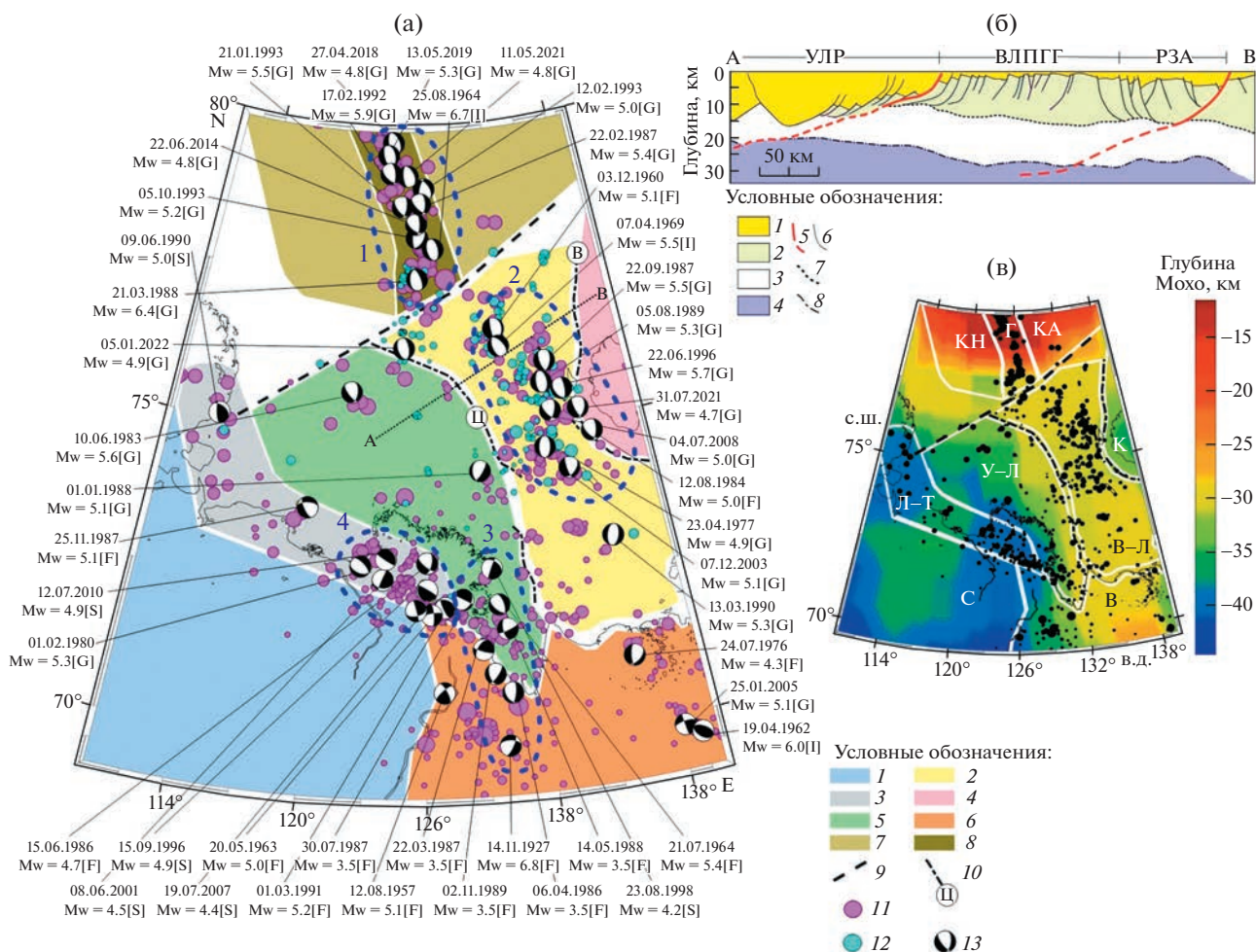
В рамках настоящей работы помимо распределения эпицентров землетрясений анализировались и доступные решения механизмов очагов в регионе за период 1927–2021 гг., приведенные на рис. 1 а. По рисунку видно, что на шельфе, как и на хребте Гаккеля, преобладают сбросовые механизмы, причем они сконцентрированы, как и облако эпицентров, в восточной части в пределах Восточно-Лаптевоморской провинции горстов и грабенов. Восточно-Лаптевоморская провинция горстов и грабенов расположена между центральной группой срывов растяжения, маркирующих восточную границу системы Усть-Ленского и Омолейского рифтов, и группой срывов, вытянутой вдоль восточной границы цепи рифтов Анисин, Заря и Бельковско-Святоносский (рис. 1 б) [6]. Наиболее многочисленное облако эпицен-

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова  
Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup>Тихоокеанский океанологический институт  
им. В.И. Ильичева Российской академии наук,  
Владивосток, Россия

<sup>3</sup>Томский государственный университет, Томск, Россия

\*E-mail: artyomkrly@ocean.ru



**Рис. 1.** (а) Структурная схема (по [6, 8, 9] с изменениями) и механизмы очагов Лаптевоморского региона. 1 – Сибирская платформа; 2 – Восточно-Лаптевоморская провинция горстов и грабенов; 3 – Лено-Таймырская зона пограничных поднятий; 4 – Котельничское поднятие; 5 – Усть-Ленская рифтовая система; 6 – Верхоянская складчатая система; 7 – Евразийский бассейн; 8 – хребет Гаккеля; 9 – Хатанга-Ломоносовская зона разломов; 10 – срывы растяжения (Ц – центральная группа срывов, В – восточная группа срывов); 11 – эпицентры землетрясений из сводного каталога ЕГС РАН, ISC и USGS (1909–2020 гг.); 12 – эпицентры землетрясений, зарегистрированных донными сейсмостанциями [6]; 13 – механизмы очагов (источники: G – [10]; F – [11]; I – [12]; S – [7, 13]). Синей пунктирной линией выделены четыре группы механизмов очагов, использованных для расчета направлений осей главных напряжений методом формальной инверсии напряжений [14]. (б) Фрагмент интерпретированного разреза по сейсмическому профилю А–В (МАГЭ А4, по [15] с изменениями), положение профиля – на рис. 1(а). 1 – син- и пост-рифтовые отложения; 2 – верхняя кора; 3 – нижняя кора; 4 – верхняя мантия; 5 – основные срывы растяжения; 6 – листрические сбросы; 7 – граница Конрада; 8 – граница Мохоровичича. УЛР – Усть-Ленская рифтовая система; ВЛПГГ – Восточно-Лаптевоморская провинция горстов и грабенов; РЗА – рифтовая зона Анжу. (в) Распределение глубины залегания границы Мохо по данным модели CRUST 1.0 [16]. Г – хребет Хаккеля, КН – котловина Нансена, КА – котловина Амундсена, У-Л – Усть-Ленская рифтовая система, В-Л – Восточно-Лаптевоморская провинция горстов и грабенов, К – Котельничское поднятие, Л-Т – Лено-Таймырская зона пограничных поднятий; С – Сибирская платформа, В – Верхоянская складчатая система. Черные кружки – эпицентры землетрясений.

тров и концентрация событий со сбросовыми механизмами очагов, таким образом, расположены в направлении падения плоскости сместителя восточной группы срывов растяжения.

Отдельные события со сбросовым механизмом наблюдаются и в западной части шельфа в пределах Усть-Ленской рифтовой системы в направлении падения плоскости сместителя центральной

группы срывов. Они расположены, в основном, вблизи Хатанга-Ломоносовской зоны разломов на севере и вблизи дельты р. Лены и губы Буор-Хая на юге.

Стоит также упомянуть известное событие со взбросовым механизмом [7], которое локализовано в северо-восточной части Таймыра. Взбросовый механизм, видимо, обусловлен левосторон-

ним сдвигом по Хатанга-Ломоносовской зоне разломов на контакте с Сибирской платформой. Таким образом, реализуется сжатие, которое компенсирует растяжение в оси хребта Гаккеля.

Многочисленные эпицентры и известные механизмы очагов приурочены к Лено-Таймырской зоне пограничных поднятий, а также к северо-западной части Верхоянской складчатой системы. Особенно высока концентрация сейсмических событий в окрестностях дельты р. Лена — это узловая зона, где происходит контакт структур Сибирской платформы со структурами Усть-Ленской рифтовой системы и складчатыми областями, приуроченными к Лено-Таймырской зоне пограничных поднятий и Верхоянской складчатой системе. Известные механизмы очагов в окрестностях дельты р. Лена отличаются разнообразием, что говорит о сложном строении этой области, где рядом расположены блоки коры, характеризующиеся разным напряженным состоянием [17].

На рис. 1 в приведено положение границы Мохоровичича в Лаптевоморском регионе по данным модели CRUST 1.0 [16]. В целом оно согласуется с данными из других работ [15, 18, 19]. Видно, что лишь единичные эпицентры находятся в пределах Сибирской платформы, обладающей наиболее мощной корой (36–41 км). Исключением является повышенный уровень сейсмичности в Лено-Таймырской зоне пограничных поднятий, являющейся зоной контакта Сибирской платформы с Усть-Ленской рифтовой системой, а в юго-восточной части — еще и с Верхоянской складчатой системой.

Западная часть шельфа в пределах Усть-Ленской рифтовой системы характеризуется постепенным уменьшением мощности коры от 38 до 31 км по направлению от Сибирской платформы к центральной части шельфа. Вместе с тем, количество эпицентров здесь выше, чем в пределах Сибирской платформы, однако гораздо ниже, чем в пределах Восточно-Лаптевоморской провинции горстов и грабенов, которая характеризуется мощностью коры 29–31 км. Такая же корреляция между повышенной сейсмичностью и меньшей средней мощности коры наблюдается и при сравнении Сибирской платформы и Верхоянской складчатой системы. Далее на восток при резком переходе от Восточно-Лаптевоморской провинции горстов и грабенов с мощностью коры 29–31 км к Котельническому поднятию с мощностью коры 36–37 км также резко уменьшается и количество эпицентров землетрясений. Количество эпицентров на шельфе коррелирует также с мощностью осадочной толщи — согласно [15] осадочный чехол в пределах Усть-Ленской рифтовой системы гораздо мощнее, чем в Восточно-Лапте-

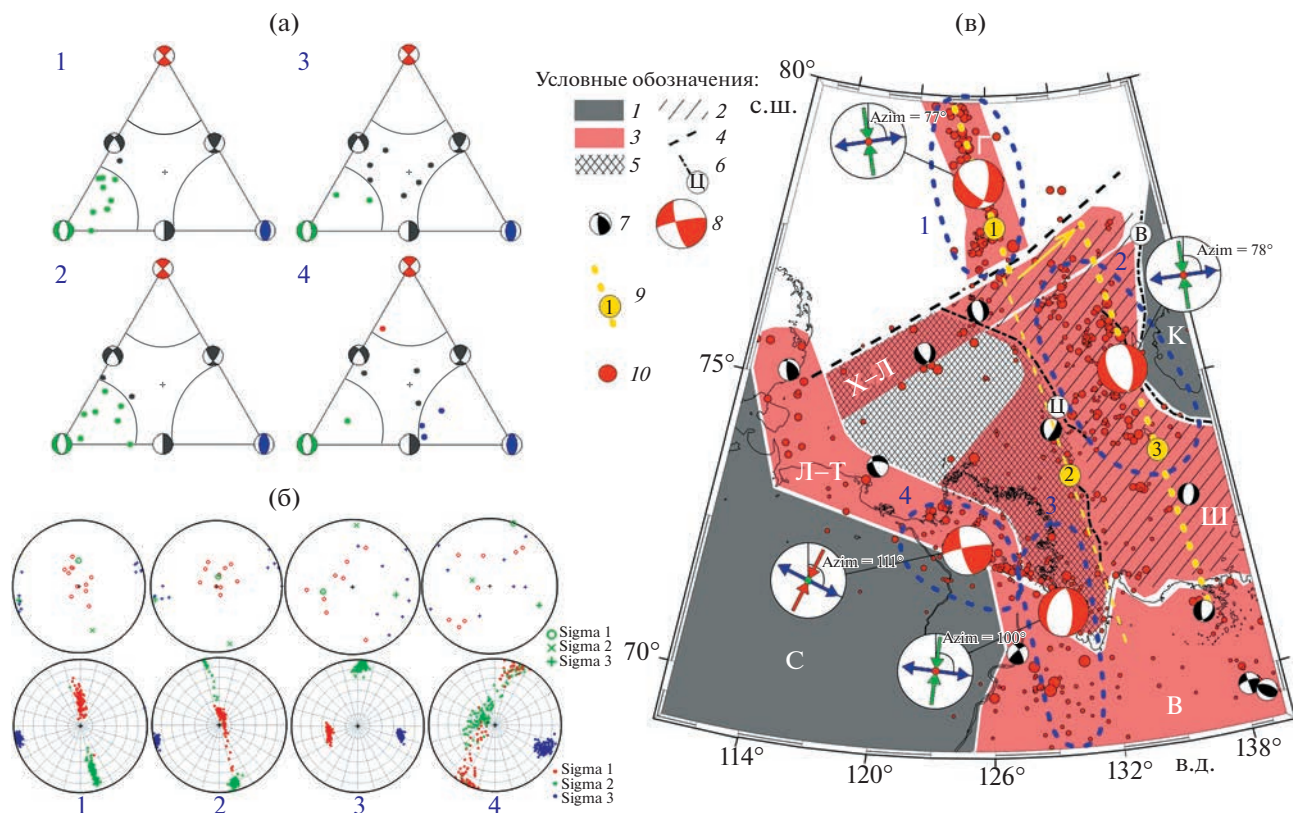
воморской провинции горстов и грабенов, а количество эпицентров заметно меньше.

На рис. 1 а выделены четыре наиболее многочисленные группы механизмов очагов (по 8–11 событий в каждой): первая группа соответствует южному сегменту хребта Гаккеля, вторая — Восточно-Лаптевоморской провинции горстов и грабенов, третья — Хараулахскому сегменту и северной части Верхоянского хребта, четвертая — юго-восточной части Лено-Таймырской зоны пограничных поднятий вдоль Оленекской протоки. Разделение области концентрации эпицентров в окрестности дельты р. Лена было выполнено в соответствии с выявленными в более ранних работах [17, 20] разными сейсмотектоническими характеристиками и напряженным состоянием для восточной и западной части этой области.

На рис. 2 а приведены треугольные диаграммы Фролиха [21], по которым можно визуальнo продемонстрировать преобладающие типы механизмов очагов в четырех выделенных областях. Видно, что в первой и второй группах преобладают сбросовые механизмы очагов, в то время как в третьей и четвертой преобладающий тип механизмов выделить затруднительно.

Описанные четыре группы механизмов очагов использовались для расчета направлений осей главных напряжений методом формальной инверсии напряжений [14]. Использование этого метода позволяет сгруппировать механизмы очагов, чтобы рассчитать более точно локальное поле напряжений в определенной области, которое могло бы обеспечить наблюдаемое распределение ориентации плоскостей разрывов. В этом заключается преимущество такого подхода перед классическими индивидуальными решениями механизмов очагов отдельных землетрясений. На рис. 2 б продемонстрированы направления осей главных напряжений и доверительные интервалы для тех же четырех групп механизмов очагов по результатам расчетов с помощью программы Stressinverse 1.1.3 [14]. В табл. 1 приведены полученные параметры ориентации главных осей напряжений, а также приуроченный 4 областям тектонический режим согласно критериям из [22]: растяжение для первых трех областей и сдвиг для четвертой.

На рис. 2 в приведена предлагаемая схема геодинамических режимов в Лаптевоморском регионе. Концентрация большей части эпицентров землетрясений в пределах Восточно-Лаптевоморской провинции горстов и грабенов и сбросовых механизмов очагов вдоль цепи рифтов Анисин, Заря и Бельковского-Святоносский говорит о том, что в настоящее время активна восточная группа срывов, формирующая новую ось растяжения (ось 3 на рис. 2 в), расположенную к северо-востоку от оси хребта Гаккеля (ось 1 на рис. 2 в).



**Рис. 2.** (а) Треугольные диаграммы Фроля [21] для четырех групп механизмов очагов, выделенных на рис. 1(а), с соответствующей нумерацией. (б) Направления осей главных напряжений и доверительные интервалы для тех же четырех групп механизмов очагов по результатам расчетов с помощью программы Stressinverse 1.1.3 [14]. (в) Схема геодинамических режимов в Лаптевоморском регионе. 1 – Сибирская платформа (С) и Котельническое поднятие (К); 2 – Восточно-Лаптевоморская провинция горстов и грабенов; 3 – сейсмические пояса, приуроченные к: Л-Н – Лено-Таймырской зоне пограничных поднятий, Ш – основной части шельфа моря Лаптевых, Х-Л – зоне влияния Хатангско-Ломоносовской зоны разломов, В – Верхоянской складчатой системе, Г – хребту Гаккеля; 4 – Хатанга-Ломоносовская зона разломов; 5 – Усть-Ленская рифтовая система; 6 – срывы растяжения: Ц – центральная группа, В – восточная группа; 7 – механизмы отдельных очагов землетрясений; 8 – полученные с помощью программы Stressinverse 1.1.3 [14] оптимальные решения механизмов для четырех групп очагов, выделенных на рис. 1 а в областях, очерченных синей пунктирной линией и с соответствующими номерами; 9 – оси растяжения (относящиеся к: 1 – хребту Гаккеля, 2 – группе срывов Ц, 3 – к группе срывов В). Оптимальные решения механизмов сопровождаются врезками с демонстрацией азимутов горизонтальных составляющих главных осей напряжений; 10 – эпицентры землетрясений из сводного каталога EGS РАН, ISC и USGS, а также зарегистрированные донными сейсмостанциями.

Практически идентичные азимуты осей растяжения  $1^\circ$  и  $3^\circ$ ,  $77^\circ$  и  $78^\circ$  соответственно, говорят о взаимосвязи геодинамических процессов, вызывающих растяжение коры в осях хребта Гаккеля и восточной группы срывов на шельфе. При этом более древняя ось растяжения (ось 2 на рис. 2 в), расположенная вдоль центральной группы срывов и продолжающая ось хребта Гаккеля, в настоящее время гораздо менее активна, реализуя остаточные напряжения вблизи ее пересечения с Хатанга-Ломоносовской зоной разломов в северо-западной части шельфа и с Лено-Таймырской зоной пограничных поднятий – в юго-западной. Интересен тот факт, что момент резкого замедления скорости спрединга в Евразийском бассейне соответствует изменению кинематики движения

мантийных потоков и, соответственно, литосферных плит в северо-западной части Тихого океана [23]. Тем не менее предположение о том, что смещение оси растяжения на шельфе моря Лаптевых может быть связано с изменением кинематики Тихоокеанской плиты, требует дальнейшего обоснования.

В южной части шельфа азимуты осей растяжения увеличиваются до  $100^\circ$ – $111^\circ$  – это видно и по индивидуальным механизмам очагов отдельных землетрясений, и по результатам расчетов методом формальной инверсии напряжений для третьей и четвертой групп механизмов. В окрестности дельты р. Лена оси растяжения ориентированы вдоль Оленекской и Быковской протоков и границы Сибирской платформы. При этом реа-

**Таблица 1.** Ориентация главных осей напряжений по результатам расчетов с помощью программы Stressinverse 1.1.3 [14] и тектонический режим (согласно критериям из [22]) для четырех участков коры, включающих группы событий с механизмами очагов, обозначенные на рис. 1 а, 2 в

| Группа механизмов очагов                                      | s1 (P)     |                  | s2 (B)     |                  | s3 (T)     |                  | R*   | Тектонический режим согласно критериям из [22] |
|---------------------------------------------------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------|------------------------------------------------|
|                                                               | Азимут (°) | Угол падения (°) | Азимут (°) | Угол падения (°) | Азимут (°) | Угол падения (°) |      |                                                |
| 1. Южный сегмент хребта Гаккеля                               | 179        | 58               | 163        | 31               | 77         | 7                | 0.18 | растяжение                                     |
| 2. Восточно-Лаптевоморская провинция горстов и грабенов       | 12         | 78               | 167        | 11               | 78         | 5                | 0.41 | растяжение                                     |
| 3. Восточная часть дельты р. Лены и север Верхоянского хребта | 81         | 54               | 4          | 9                | 100        | 35               | 0.69 | растяжение                                     |
| 4. Центральная и западная часть дельты р. Лена                | 21         | 1                | 108        | 68               | 111        | 22               | 0.34 | сдвиг                                          |

\*  $R = (s1 - s2)/(s1 - s3)$

лизуется режим растяжения в восточной части и сдвиговый в западной части окрестности дельты р. Лена.

В результате работы можно сформулировать следующие выводы:

1. Сейсмологические данные показывают, что продолжением оси растяжения спредингового хребта Гаккеля на шельфе моря Лаптевых в настоящее время является восточная группа срывов, вытянутая вдоль восточной границы цепи рифтов Анисин, Заря и Бельковско-Святоносский. При этом более древняя ось растяжения, расположенная вдоль центральной группы срывов, маркирующих восточную границу системы Усть-Ленского и Омолойского рифтов, и продолжающая ось хребта Гаккеля, в настоящее время гораздо менее активна, реализуя остаточные напряжения вблизи ее пересечения с Хатанга-Ломоносовской зоной разломов в северо-западной части шельфа и с Лено-Таймырской зоной пограничных поднятий — в юго-западной. При этом вблизи дельты р. Лена оси растяжения ориентированы вдоль Оленекской и Быковской протоков и границы Сибирской платформы, формируя условия растяжения в восточной части и сдвиговый режим в западной части окрестности дельты р. Лена.

2. Обе оси растяжения на шельфе моря Лаптевых, настоящая и прошлая, расположены в зонах резкого изменения мощности коры и концентрации очагов землетрясений. Это, в целом, соответствует выводам из работы [24] о повышенной сейсмичности в нижней коре в районах, где положе-

ние рифтовых систем сопровождается резкими изменениями мощности литосферы.

#### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания № FMWE-2021-0004 (анализ положения тектонических структур), при финансовой поддержке в рамках гранта РНФ № 23-17-00125 (определение ориентаций главных осей напряжений в Лаптевоморском регионе и геодинамическая интерпретация результатов), гранта Президента РФ для поддержки молодых ученых № МК-45.2022.1.5 (описание распределения землетрясений в контексте анализа геоопасностей), гранта РНФ № 21-77-30001 (работа по установке геофизического оборудования в экспедициях), Министерства науки и образования (проект № 0211-2021-0010 и программа Приоритет-2030, рассмотрение зависимости выделения метана со дна и сейсмотектонических процессов).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson Ö., Sergienko V., Lobkovsky L., Dudarev O., Tumskoy V., Grigoriev M., Mazurov A., Salyuk, A. et al.* Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf // *Nature Communication*. 2017. V. 8. 15872. <https://doi.org/10.1038/ncomms15872>
2. *Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E.* Understanding the Permafrost—Hydrate System and Associated Methane Releases in the East Siberian Arctic Shelf // *Geosciences*. 2019. V. 9. 251. <https://doi.org/10.3390/geosciences9060251>

3. Baranov B., Galkin S., Vedenin A., Dozorova K., Gebruk A., Flint M. Methane seeps on the outer shelf of the Laptev Sea: characteristic features, structural control, and benthic fauna // *Geo-Marine Letters*. 2020. <https://doi.org/10.1007/s00367-020-00655-7>
4. Krylov A.A., Egorov I.V., Kovachev S.A., Ilinskiy D.A., Ganzha O.Y., Timashkevich G.K., Roginskiy K.A., Kulikov M.E., Novikov M.A., Ivanov V.N., et al. Ocean-Bottom Seismographs Based on Broadband MET Sensors: Architecture and Deployment Case Study in the Arctic // *Sensors*. 2021. V. 21. 3979. <https://doi.org/10.3390/s21123979>
5. Krylov A.A., Ananiev R.A., Chernykh D.V., Alekseev D.A., Balikhin E.I., Dmitrevsky N.N., Novikov M.A., Radiuk E.A., Domaniuk A.V., Kovachev S.A., et al. A Complex of Marine Geophysical Methods for Studying Gas Emission Process on the Arctic Shelf // *Sensors*. 2023. V. 23. 3872. <https://doi.org/10.3390/s23083872>
6. Крылов А.А., Лобковский Л.И., Рукавишников Д.Д., Баранов Б.В., Ковачев С.А., Дозорова К.А., Цуканов Н.В., Семилетов И.П. Новые данные о сейсмостектонике моря Лаптевых по наблюдениям донных сейсмостанций // Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. 2022. Т. 507. № 1. С. 98–103. <https://doi.org/10.31857/S2686739722601582>
7. Середкина А.И., Козьмин Б.М. Очаговые параметры Таймырского землетрясения 9 июня 1990 г. // *ДАН*. 2017. Т. 473. № 2. С. 214–217. <https://doi.org/10.7868/S0869565217060202>
8. Drachev S.S. Laptev Sea Rifted Continental Margin: Modern Knowledge and Unsolved Questions // *Polarforschung*. 2000. V. 68. № 1–3. P. 41–50.
9. Тектонографический атлас Восточной Арктики / Отв. ред.: О. В. Петров, М. Смеллор. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2020. 152 с.
10. Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) Project. Электронный ресурс. 2023. <http://www.globalcmt.org/>.
11. Fujita K., Kozmin B.M., Mackey K.G., Riegel S.A., McLean M.S., Imaev V.S. Seismotectonics of the Chersky seismic belt, eastern Russia (Yakutia) and Magadan district, Russia // *Geology, Geophysics and Tectonics of Northeastern Russia: a Tribute to Leonid Parfenov*. Stephan Mueller Special Publication Series. 2009. V. 4. P. 117–145.
12. ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue. Thatcham, Berkshire, United Kingdom. Электронный ресурс. 2023. URL: <http://www.isc.ac.uk/>
13. Середкина А.И. Тензор сейсмического момента землетрясений Северного Верхоянья и шельфа моря Лаптевых / Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы 11–15 сентября 2017 г., Республика Казахстан. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 338–341.
14. Vavrycuk V. Iterative joint inversion for stress and fault orientations from focal mechanisms // *Geophysical Journal International*. 2014. V. 199. P. 69–77. <https://doi.org/10.1093/gji/ggu224>
15. Drachev S.S., Mazur S., Campbell S., Green C., Shkarubo S.I., Tishchenko A. Crustal architecture of the Laptev Rift System in the East Siberian Arctic based on 2D long-offset seismic profiles and gravity modelling // *Petroleum Geoscience*. 2018. V. 24. P. 402–413. <https://doi.org/10.1144/petgeo2016-143>
16. Laske G., Masters G., Ma Z., Pasyanos M. Update on CRUST1.0 – A 1-degree Global Model of Earth's Crust, *Geophys. Res. Abstracts*, 15, Abstract EGU2013-2658, 201.
17. Имаева Л.П., Гусев Г.С., Имаев В.С. Динамика рельефа и сейсмостектоническая активизация новейших структур дельты р. Лена // *Геотектоника*. 2019. № 5. С. 62–77. <https://doi.org/10.31857/S0016-853X2019562-77>
18. Cherepanova Y., Artemieva I.M., Thybo H., Chemia Z. Crustal structure of the Siberian craton and the West Siberian basin: An appraisal of existing seismic data // *Tectonophysics*. 2013. V. 609. P. 154–183. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.05.004>
19. Пискарев А.Л. Арктический бассейн (геология и морфология). СПб.: ВНИИОкеангеология, 2016. 291 с.
20. Сейсмостектоника северо-восточного сектора Российской Арктики / Под ред. Л.П. Имаевой, И.И. Колодезникова. Ин-т земной коры СО РАН, Ин-т геологии алмаза и благородных металлов СО РАН. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2017. 134 с.
21. Frohlich C. Triangle diagrams: ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 1992. V. 75. P. 193–198.
22. Zoback M.-L. First- and Second-Order Patterns of Stress in the Lithosphere: The World Stress Map Project // *Journal of Geophysical Research*. 1992. V. 97. № B8. P. 11703–11728.
23. Лобковский Л.И., Кононов М.В., Шипилов Э.В. Геодинимические причины возникновения и прекращения кайнозойских сдвиговых деформаций в Хатанга-Ломоносовской разломной зоне (Арктика) // Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 492. № 1. С. 82–87. <https://doi.org/10.31857/S2686739720050102>
24. Sloan R.A., Jackson J.A., McKenzie D.M., Priestley K. Earthquake depth distributions in central Asia, and their relations with lithosphere thickness, shortening and extension // *Geophysical Journal International*. 2011. V. 185. P. 1–29. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04882.x>

## GEODYNAMIC REGIMES IN THE LAPTEV SEA REGION ACCORDING TO THE LATEST SEISMOLOGICAL DATA

**A. A. Krylov<sup>a,b,c,#</sup>, Academician of the RAS L. I. Lobkovsky<sup>a,b,c</sup>, S. A. Kovachev<sup>a</sup>, B. V. Baranov<sup>a</sup>,  
D. D. Rukavishnikova<sup>a</sup>, N. V. Tsukanov<sup>a</sup>, K. A. Dozorova<sup>a</sup>,  
and Corresponding Member of the RAS I. P. Semiletov<sup>b,c</sup>**

<sup>a</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>b</sup>*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok, Russian Federation*

<sup>c</sup>*Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation*

<sup>#</sup>*E-mail: artyomkrlyv@ocean.ru*

The results of the analysis of focal mechanisms and the general distribution of earthquake epicenters in the Laptev Sea region were presented. For four groups of clusters of events with known focal mechanisms, the directions of the principal stress axes were calculated by the formal stress inversion method. The distributions of earthquake epicenters and crustal thickness were compared. It has been revealed that, according to seismological data, the prolongation of the extension axis of the Gakkel Ridge on the Laptev Sea shelf is currently located in the vicinity of the group of extension detachments, which is extended along the eastern boundary of the Anisin, Zarya, and Belkovsko-Svyatonosky rift chains. The older extension axis, located along the group detachments marking the eastern boundary of the Ust-Lena and Omoloy rift systems, and continuing the axis of the Gakkel Ridge, is currently much less active, realizing residual stresses near its intersection with the Khatanga-Lomonosov fault zone in the northwestern parts of the shelf and with the Lena-Taimyr zone of boundary uplifts – in the southwestern. Near the Lena delta extension axes are oriented along the Olenekskaya and Bykovskaya channels and the border of the Siberian Platform, forming the extension conditions in the eastern part and the strike-slip regime in the western part of the vicinity of the Lena delta.

**Keywords:** Eastern Arctic, Laptev Sea, earthquakes, focal mechanisms, formal stress inversion, extension axis, extension detachment