

**СТРОЕНИЕ и  
ДИНАМИКА  
ЛИТОСФЕРЫ  
БЕЛОМОРЬЯ**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ КарНЦ РАН

# **СТРОЕНИЕ И ДИНАМИКА ЛИТОСФЕРЫ БЕЛОМОРЬЯ**

Ответственный редактор Н. В. Шаров

Петрозаводск  
2022

УДК 551.14 + 550.347.62(470.2)

ББК 26.32

С86

Авторы:

В. Э. Асминг, Н. Ю. Афонин, Л. И. Бакунович, А. С. Балуев, Б. З. Белашев, И. В. Бугаенко, Н. В. Ваганова, А. Н. Виноградов, К. Б. Данилов, В. А. Журавлев, Л. Н. Заец, С. Ю. Колодяжный, Н. Б. Кузнецов, А. Н. Морозов, С. Б. Николаева, М. Ю. Нилов, Т. В. Романюк, Е. Н. Терехов, А. В. Федоров, Т. А. Цветкова, Н. В. Шаров, С. В. Шварев, Е. Ю. Яковлев

Рецензенты:

докт. геол.-минер. наук Ю. Г. Кутинов

докт. геол.-минер. наук М. Г. Леонов

С86 **Строение и динамика литосферы Беломорья** : монография / В. Э. Асминг, Н. Ю. Афонин, Л. И. Бакунович [и др.] ; отв. ред. Н. В. Шаров ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», Институт геологии КарНЦ РАН. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2022. – 239 с.: ил. 133, табл. 8. Библиогр. 917 назв.

ISBN 978-5-9274-0914-3

В коллективной монографии на основе анализа и обобщения всей совокупности имеющейся геолого-геофизической информации, накопленной за прошедшие 50 лет, даются современные представления о глубинном строении земной коры Белого моря и прилегающих территорий. Объектом исследования является бассейн Белого моря, находящийся на сочленении северо-восточного склона Фенноскандинавского щита и Русской плиты. Акватория моря и прилегающая суша носит название Беломорский регион или Беломорье. Считается, что структура сформировавшихся здесь в архее докембрийских блоков континентальной коры региона сохранилась до настоящего времени. Подтверждением того является совпадение источников крупных аномалий гравитационного и магнитного полей Фенноскандинавского щита и различие в форме и положениях аномалий северо-западной части Мезенской синеклизы. Последний факт свидетельствует о процессах протерозойского рифтогенеза и последующей тектоно-магматической активизации на северо-восточном краю Восточно-Европейской платформы. Внимание авторов сосредоточено на результатах инструментальных сейсмологических наблюдений, полученных в последние годы, явлениях и процессах, порождающих сейсмичность, и других проявлениях современной геодинамики. Обобщение и комплексная интерпретация накопленных данных по геологии, тектонике, геофизике позволили выявить новые детали глубинного строения литосферы, уточнить ее состав, возможную геологическую природу и геодинамические условия ее формирования.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов, работающих в области изучения земной коры и верхней мантии докембрийских щитов, а также на студентов, аспирантов и молодых специалистов, интересующихся тайнами земных глубин.

УДК 551.14 + 550.347.62(470.2)

ББК 26.32



*Издание осуществлено при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 21-15-00019  
Издание РФФИ не подлежит продаже*

This joint monograph presents the modern concept of the deep crustal structure of the White Sea and adjacent areas based on analysis and assessment of available geological and geophysical information obtained over the past fifty years. The goal of the project was to study the White Sea basin located at the contact of the northeastern slope of the Fennoscandian Shield and the Russian Plate. The White Sea basin and the adjacent land are collectively called the White Sea Region. It is believed that the structure of the Precambrian blocks of the region's continental crust formed here in Archean time has preserved up to the present day. This assumption is supported by the coincidence of the sources of big gravity and anomaly field anomalies in the Fennoscandian Shield and by differences in the shape and position of anomalies in the northwestern Mezen syncline. This evidence is indicative of Proterozoic rift formation followed by tectonomagmatic activation on the northeastern margin of the East European Platform. The authors focused their attention on the results of instrumental seismological monitoring obtained in the past few years, as well as phenomena and processes which provoke seismicity and other modern geodynamic processes. Analysis and interpretation of available geological, tectonic and geophysical data have increased our knowledge of the deep structure, composition and possible geological origin of the lithosphere and the geodynamic setting in which it formed.

The book is expected to provide a tool for a wide circle of scholars who study the earth crust and upper mantle of Precambrian shields as well as students, postgraduates and young specialists who wish to unveil the Earth's mysteries.

*Published at financial support of the Russian Foundation for Basic Research, grant 21-15-00019  
The edition of the RFBR isn't subject for sale*

ISBN 978-5-9274-0914-3  
doi: 10.17076/lithows2022

© Коллектив авторов, 2022  
© ФИЦ «Карельский научный центр РАН», 2022  
© Институт геологии КарНЦ РАН, 2022

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ПРЕДИСЛОВИЕ .....                                                                                                                                | 5         |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....                                                                                                                          | 6         |
| ВВЕДЕНИЕ (Н. В. Шаров) .....                                                                                                                     | 7         |
| <b>Глава 1. ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТОНИКА БЕЛОМОРЬЯ (А. С. Балугев) .....</b>                                                                             | <b>9</b>  |
| 1.1. Фундамент Восточно-Европейской платформы. Фенноскандинавский щит (Е. Н. Терехов, А. С. Балугев) .....                                       | 10        |
| 1.2. Русская плита Восточно-Европейской платформы .....                                                                                          | 23        |
| 1.2.1. Палеорифтовая система Белого моря (А. С. Балугев, В. А. Журавлев, Е. Н. Терехов) .....                                                    | 23        |
| 1.2.2. Литолого-стратиграфическая характеристика грабенового выполнения рифтовой системы Белого моря и перекрывающих комплексов .....            | 40        |
| 1.2.2.1. Синрифтовый комплекс (А. С. Балугев, В. А. Журавлев) .....                                                                              | 40        |
| 1.2.2.1.1. Геохимические особенности терригенных пород терской свиты (Е. Н. Терехов) .....                                                       | 46        |
| 1.2.2.1.2. Проблема времени формирования терской свиты (А. С. Балугев, Н. Б. Кузнецов) .....                                                     | 49        |
| 1.2.2.1.3. Исследование зерен детритового циркона из пород терской свиты (Н. Б. Кузнецов, Т. В. Романюк) .....                                   | 52        |
| 1.2.2.1.4. О возрасте терской свиты и времени заложения Керецкого и Кандалакшского грабенов (Н. Б. Кузнецов, Т. В. Романюк, А. С. Балугев) ..... | 56        |
| 1.2.2.2. Строение плитного комплекса восточной части Беломорского региона (Мезенская синеклиза) (А. С. Балугев) .....                            | 58        |
| 1.2.2.3. Строение северной перикратонной области ВЕП (А. С. Балугев) .....                                                                       | 60        |
| 1.3. Внутриплитный магматизм Беломорского региона в неогее (А. С. Балугев, Е. Н. Терехов) .....                                                  | 65        |
| 1.3.1. Рифейско-вендский этап магматизма .....                                                                                                   | 65        |
| 1.3.2. Среднепалеозойский этап магматизма .....                                                                                                  | 69        |
| 1.4. Область сочленения Восточно-Европейского кратона с Западно-Арктической платформой (А. С. Балугев) .....                                     | 80        |
| <b>Глава 2. ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ (Н. В. Шаров) .....</b>                                      | <b>88</b> |
| 2.1. Результаты глубинных сейсмических исследований земной коры (Н. В. Шаров, В. А. Журавлев) .....                                              | 88        |
| 2.1.1. Характеристика морских геофизических работ .....                                                                                          | 88        |
| 2.1.2. Раздел Мохоровичича .....                                                                                                                 | 94        |
| 2.2. Трехмерная плотностная модель земной коры (Н. В. Шаров, Б. З. Белашев, Л. И. Бакунович, М. Ю. Нилов) .....                                  | 98        |
| 2.2.1. Результаты геолого-геофизического 2D моделирования вдоль профилей ГСЗ .....                                                               | 101       |
| 2.3. Трехмерная магнитная модель средней и нижней частей земной коры (М. Ю. Нилов, Н. В. Шаров, Л. И. Бакунович, Б. З. Белашев) .....            | 107       |
| 2.4. Глубинное строение земной коры Беломорского региона (Н. В. Шаров, Л. И. Бакунович, Б. З. Белашев, М. Ю. Нилов) .....                        | 115       |

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.5. Стрoение трубок «Пионерская» и «Чидвинская» Архангельской алмазoносной провинции по данным комплекса пассивных геофизических методов (К. Б. Данилов, Е. Ю. Яковлев, Н. Ю. Афонин) ..... | 117 |
| 2.5.1. Исследование трубки Пионерская месторождения им. М. В. Ломоносова по данным пассивных сейсмических методов .....                                                                      | 122 |
| 2.5.2. Исследование трубки Чидвинская Чидвинско-Ижмозерского поля по данным радиологических методов и микросейсмического зондирования .....                                                  | 125 |
| 2.6. Основные черты скоростного разреза верхней мантии .....                                                                                                                                 | 130 |
| 2.6.1. Вертикальное и латеральное изменение скорости упругих волн в верхней мантии (сейсмология взрывов) (Н. В. Шаров) .....                                                                 | 131 |
| 2.6.2. Скоростное строение верхней мантии Беломорского региона (сейсмология землетрясений) (Т. А. Цветкова, И. В. Бугаенко, Л. Н. Заец) .....                                                | 135 |
| <b>Глава 3. СЕЙСМИЧНОСТЬ БЕЛОМОРЬЯ</b> (А. Н. Морозов, А. В. Федоров, Н. В. Ваганова, А. Н. Виноградов, В. Э. Асминг) .....                                                                  | 143 |
| 3.1. Развитие инструментальных наблюдений .....                                                                                                                                              | 143 |
| 3.2. Сейсмологическая изученность .....                                                                                                                                                      | 147 |
| 3.3. Современная сейсмичность .....                                                                                                                                                          | 150 |
| 3.3.1. Характеристика исходных данных и алгоритм локации сейсмических событий .....                                                                                                          | 151 |
| 3.3.2. Особенности проявления современной сейсмичности Беломорского региона .....                                                                                                            | 161 |
| <b>Глава 4. ГЕОДИНАМИКА БЕЛОМОРЬЯ</b> (А. С. Балухев) .....                                                                                                                                  | 165 |
| 4.1. Современная тектоника Беломорского региона (А. С. Балухев) .....                                                                                                                        | 165 |
| 4.2. Геодинамика новейшего времени (С. Б. Николаева) .....                                                                                                                                   | 176 |
| 4.2.1. Гляциоизостазия в районе Беломорской впадины (С. Б. Николаева) .....                                                                                                                  | 176 |
| 4.2.2. Новейшая морфоструктура и локальные дифференцированные блоковые перемещения (С. Б. Николаева, С. В. Шварев) .....                                                                     | 181 |
| 4.2.3. Позднеплейстоцен-голоценовая сейсмичность и сейсмодеформации (С. Б. Николаева) .....                                                                                                  | 186 |
| 4.3. История тектонической эволюции Беломорского региона (А. С. Балухев, С. Ю. Колодяжный) .....                                                                                             | 191 |
| 4.3.1. Архейский этап .....                                                                                                                                                                  | 192 |
| 4.3.2. Палеопротерозойский этап .....                                                                                                                                                        | 192 |
| 4.3.3. Средне-позднерифейский этап .....                                                                                                                                                     | 194 |
| 4.3.4. Венд-кембрийский этап .....                                                                                                                                                           | 199 |
| 4.3.5. Среднепалеозойский этап .....                                                                                                                                                         | 200 |
| 4.3.6. Позднекайнозойский (современный) этап .....                                                                                                                                           | 202 |
| 4.3.7. Геодинамическая модель эволюции Беломорского региона .....                                                                                                                            | 205 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ (Н. В. Шаров, А. С. Балухев) .....                                                                                                                                                | 209 |
| ЛИТЕРАТУРА .....                                                                                                                                                                             | 213 |
| КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ .....                                                                                                                                                            | 235 |

# CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PREFACE .....                                                                                                                                                                                          | 5   |
| LIST OF ABBREVIATIONS .....                                                                                                                                                                            | 6   |
| INTRODUCTION ( <i>N. V. Sharov</i> ) .....                                                                                                                                                             | 7   |
| <b>Chapter 1. GEOLOGY AND TECTONICS OF THE WHITE SEA REGION</b> ( <i>A. S. Baluev</i> ) .....                                                                                                          | 9   |
| 1.1. East European Platform basement. Fennoscandian Shield ( <i>E. N. Terekhov, A. S. Baluev</i> ) .....                                                                                               | 10  |
| 1.2. Russian Plate of the East European Platform .....                                                                                                                                                 | 23  |
| 1.2.1. Paleorift system of the White Sea ( <i>A. S. Baluev, V. A. Zhuravlev, E. N. Terekhov</i> ) .....                                                                                                | 23  |
| 1.2.2. Lithologo-stratigraphic description of the graben filling of the White Sea rift system and overlying complexes .....                                                                            | 40  |
| 1.2.2.1. Synrift complex ( <i>A. S. Baluev, V. A. Zhuravlev</i> ) .....                                                                                                                                | 40  |
| 1.2.2.1.1. Geochemical characteristics of terrigenous rocks in the Tersk Suite ( <i>E. N. Terekhov</i> ) .....                                                                                         | 46  |
| 1.2.2.1.2. Problem in the time of formation of the Tersk Suite ( <i>A. S. Baluev, N. B. Kuznetsov</i> ) .....                                                                                          | 49  |
| 1.2.2.1.3. Analysis of detrital zircon grains from Tersk rocks ( <i>N. B. Kuznetsov, T. V. Romanyuk</i> ) .....                                                                                        | 52  |
| 1.2.2.1.4. On the age of the Tersk Suite and the time of formation of the Keretz and Kandalaksh grabens ( <i>N. B. Kuznetsov, T. V. Romanyuk, A. S. Baluev</i> ) .....                                 | 56  |
| 1.2.2.2. Structure of the plate complex in the eastern White Sea Region (Mezen syncline) ( <i>A. S. Baluev</i> ) .....                                                                                 | 58  |
| 1.2.2.3. Structure of the northern pericratonic zone of EEP ( <i>A. S. Baluev</i> ) .....                                                                                                              | 60  |
| 1.3. Neogaeic intraplate magmatism of the White Sea Region ( <i>A. S. Baluev, E. N. Terekhov</i> ) .....                                                                                               | 65  |
| 1.3.1. Riphean-Vendian stage of magmatism .....                                                                                                                                                        | 65  |
| 1.3.2. Middle Paleozoic stage of magmatism .....                                                                                                                                                       | 69  |
| 1.4. East European Craton – West Arctic Platform conjugation zone ( <i>A. S. Baluev</i> ) .....                                                                                                        | 80  |
| <b>Chapter 2. DEEP STRUCTURE OF THE EARTH CRUST AND THE UPPER MANTLE AS SHOWN BY GEOPHYSICAL DATA</b> ( <i>N. V. Sharov</i> ) .....                                                                    | 88  |
| 2.1. Results of the deep seismic studies of the earth crust ( <i>N. V. Sharov, V. A. Zhuravlev</i> ) .....                                                                                             | 88  |
| 2.1.1. Description of marine geophysical studies .....                                                                                                                                                 | 88  |
| 2.1.2. M-discontinuity .....                                                                                                                                                                           | 94  |
| 2.2. 3D density model of the earth crust ( <i>N. V. Sharov, B. Z. Belashev, L. I. Bakunovich, M. Yu. Nilov</i> ) .....                                                                                 | 98  |
| 2.2.1. Results of geologo-geophysical 2D modelling along DSS profiles .....                                                                                                                            | 101 |
| 2.3. 3D magnetic model of the middle and lower portions of the earth crust ( <i>M. Yu. Nilov, N. V. Sharov, L. I. Bakunovich, B. Z. Belashev</i> ) .....                                               | 107 |
| 2.4. Deep crustal structure of the White Sea Region ( <i>N. V. Sharov, L. I. Bakunovich, B. Z. Belashev, M. Yu. Nilov</i> ) .....                                                                      | 115 |
| 2.5. Structure of Pionerskaya and Chidvinskaya pipes in the Arkhangelsk Diamondiferous Province revealed by passive geophysical methods ( <i>K. B. Danilov, E. Yu. Yakovlev, H. Yu. Afonin</i> ) ..... | 117 |
| 2.5.1. Passive seismic study of Pionerskaya Pipe from M. V. Lomonosov deposit .....                                                                                                                    | 122 |
| 2.5.2. Study of Chidvinskaya Pipe from the Chidvinsko-Izhmozerian Field using radiological methods and microseismic sounding .....                                                                     | 125 |
| 2.6. Main features of the high-velocity section of the upper mantle .....                                                                                                                              | 130 |

## CONTENTS

---

|                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.6.1. Vertical and lateral variation in elastic wave velocity in the upper mantle (explosion seismology) (N. V. Sharov) .....                          | 131 |
| 2.6.2. High-velocity structure of the upper mantle of the White Sea Region (earthquake seismology) (T. A. Tsvetkova, I. V. Bugaenko, L. N. Zaets) ..... | 135 |
| <b>Chapter 3. SEISMICITY OF THE WHITE SEA REGION</b> (A. N. Morozov, A. V. Fedorov, N. V. Vaganova, A. N. Vinogradov, V. E. Asming) .....               | 143 |
| 3.1. Evolution of instrumental monitoring .....                                                                                                         | 143 |
| 3.2. Coverage of seismological studies .....                                                                                                            | 147 |
| 3.3. Modern seismicity .....                                                                                                                            | 150 |
| 3.3.1. Characteristics of reference data and an algorithm for locating seismic events .....                                                             | 151 |
| 3.3.2. Manifestation pattern of modern seismicity in the White Sea Region .....                                                                         | 161 |
| <b>Chapter 4. GEODYNAMICS OF THE WHITE SEA REGION</b> (A. S. Baluev) .....                                                                              | 165 |
| 4.1. Modern tectonics of the White Sea Region (A. S. Baluev) .....                                                                                      | 165 |
| 4.2. Neo-geodynamics (S. B. Nikolaeva) .....                                                                                                            | 176 |
| 4.2.1. Glacioisostasy in the White Sea Depression area (S. B. Nikolaeva) .....                                                                          | 176 |
| 4.2.2. Recent morphostructure and local differentiated block movements (S. B. Nikolaeva, S. V. Shvarev) .....                                           | 181 |
| 4.2.3. Late Pleistocene-Holocene seismicity and seismic deformation (S. B. Nikolaeva) .....                                                             | 186 |
| 4.3. Tectonic evolution of the White Sea Region: background (A. S. Baluev, S. Yu. Kolodyazhny) .....                                                    | 191 |
| 4.3.1. Archean stage .....                                                                                                                              | 192 |
| 4.3.2. Paleoproterozoic stage .....                                                                                                                     | 192 |
| 4.3.3. Middle-Late Riphean stage .....                                                                                                                  | 194 |
| 4.3.4. Vendian-Cambrian stage .....                                                                                                                     | 199 |
| 4.3.5. Middle Paleozoic stage .....                                                                                                                     | 200 |
| 4.3.6. Late Cenozoic (modern) stage .....                                                                                                               | 202 |
| 4.3.7. Geodynamic evolution model of the White Sea Region .....                                                                                         | 205 |
| CONCLUSIONS (N. V. Sharov, A. S. Baluev) .....                                                                                                          | 209 |
| REFERENCES .....                                                                                                                                        | 213 |
| BRIEF INFORMATION ABOUT THE AUTHORS .....                                                                                                               | 235 |