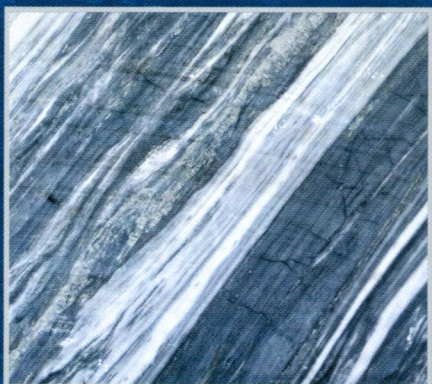




ЛАДОЖСКАЯ ПРОТЕРОЗОЙСКАЯ СТРУКТУРА

(ГЕОЛОГИЯ, ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ
и МИНЕРАГЕНИЯ)



MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL RESEARCH CENTRE
KARELIAN RESEARCH CENTRE, RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF GEOLOGY

PROTEROZOIC LADOGA STRUCTURE
(GEOLOGY, DEEP STRUCTURE
AND MINERAL GENESIS)

Executive Editor N. V. Sharov

Petrozavodsk
2020

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

ЛАДОЖСКАЯ ПРОТЕРОЗОЙСКАЯ СТРУКТУРА
(ГЕОЛОГИЯ, ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ
И МИНЕРАГЕНИЯ)

Ответственный редактор Н. В. Шаров

Петрозаводск
2020

УДК 551.72+551.242.5+553.04(470.22)

ББК 26.33

Л15

Авторы:

И. А. Алексеев, А. В. Амантов, М. Г. Амантова, А. В. Бабичев, Ш. К. Балтыбаев, И. В. Бугаенко, А. С. Воинов, Н. С. Голубцова, А. А. Жамалетдинов, С. В. Зайцев, Л. А. Золотая, В. И. Иващенко, Э. В. Исанина, В. Е. Колесников, Т. Г. Короткова, М. В. Коснырева, И. К. Котова, А. Л. Кулаковский, В. А. Куликов, А. М. Ларин, Т. Лехтия, П. А. Львов, М. В. Минц, Ю. А. Морозов, Т. А. Мыскова, М. Ю. Нилов, Н. Н. Пиманова, О. П. Полянский, П. Ю. Пушкарев, И. И. Рокитянский, А. М. Ручьев, П. А. Рязанцев, А. А. Скороходов, А. И. Смутьская, Е. Ю. Соколова, В. А. Спиридонов, К. Сундبلاد, Я. В. Таран, Т. А. Цветкова, Е. Н. Черемисина, Н. В. Шаров, А. Н. Шевцов, В. В. Щипцов, С. И. Южанинова, А. Г. Яковлев, О. В. Якубович

Рецензенты:

член-корреспондент РАН *К. В. Лобанов*

доктор геол.-минер. наук *В. А. Поселов*

Л15 **Ладожская протерозойская структура (геология, глубинное строение и минерагения)** / Отв. ред. Н. В. Шаров. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. – 435 с.: ил. 343, табл. 54. Библиогр. 961 назв. ISBN 978-5-9274-0849-8

В коллективной монографии на основе анализа и обобщения всей совокупности имеющейся геолого-геофизической информации, накопленной за прошедшие пятьдесят лет, даются современные представления о глубинном строении земной коры Ладожской протерозойской структуры. Сопоставление глубины залегания поверхности Мохоровичича, регионального гравитационного и магнитного полей позволило сделать заключение, что основные тектонические структуры региона – Карельский кратон и Свеккофеннский ороген – различаются по типу их корреляционной связи. Обобщение и комплексная интерпретация накопленных данных по геологии, тектонике, геофизике и минерагении позволили выявить новые детали глубинного строения литосферы, уточнить ее состав, возможную геологическую природу и геодинамические условия ее формирования. Дальнейшая детализация полученных зависимостей и привлечение дополнительных геолого-геофизических материалов могут не только послужить основой для решения теоретических вопросов геологии, но и помочь в решении проблем связи между глубинной структурой литосферы и строением верхних горизонтов земной коры, в проведении их металлогенического анализа.

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 551.72+551.242.5+553.04(470.22)

ББК 26.33

*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 19-15-00014
Издание РФФИ не подлежит продаже*



The modern concepts of the deep crustal structure of the Proterozoic Ladoga Structure, based on analysis of available geological and geophysical information obtained over the past 50 years, are presented in the present joint monograph. Comparison of the depths of occurrence of the M-discontinuity and regional gravity and magnetic fields has led the authors to conclude that the main tectonic structures of the region, i.e. the Karelian Craton and the Svecofennian orogen, differ in a correlation type. The integrated interpretation of available data on geology, tectonics, geophysics and mineral genesis has made it possible to better understand the deep lithospheric structure, to re-determine its composition, possible geological origin and the geodynamic conditions of formation. Further detailed study of the relationships revealed and additional geological and geophysical data may provide a basis for approaching theoretical geological problems, cast light on a relationship between the deep lithospheric structure and the structure of upper crustal horizons and contribute to their metallogenic analysis.

The book is meant for a wide circle of experts in the study of the earth crust and upper mantle of Precambrian shields, as well as students, postgraduates and young specialists wishing to unveil deep earth's mysteries.

*Published at financial support of the Russian Foundation for Basic Research, grant 19-15-00014
The edition of the RFBR isn't subject for sale*

ISBN 978-5-9274-0849-8

© Коллектив авторов, 2020

© ФИЦ «Карельский научный центр РАН», 2020

© Институт геологии КарНЦ РАН, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ (Н. В. Шаров).....	6
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	8
Глава 1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО ПРИЛАДОЖЬЯ.....	10
1.1. Геологическое строение зоны сочленения Свекофеннского орогена и Карельского кратона, Северный и Южный домены Приладожья (Ш. К. Балтыбаев).....	10
1.2. Стратиграфические подразделения.....	15
1.2.1. Введение. Архей. Нижний и верхний карелий (Ш. К. Балтыбаев).....	15
1.2.2. Протерозой, сортавальская серия (И. К. Котова, А. С. Воинов, И. А. Алексеев).....	18
1.2.3. Протерозой, ладожская серия (Т. А. Мыскова, П. А. Львов).....	28
1.2.4. Протерозой, лахденпохская серия (Ш. К. Балтыбаев).....	43
1.2.5. Региональная корреляция калевийских толщ Северного Приладожья и прилегающей территории Финляндии (Т. Лехтиля, К. Сундبلاد).....	50
1.2.6. Мезопротерозой, нижний рифей – иотний (В. И. Иващенко, А. М. Ларин).....	73
1.3. Магматические комплексы Северного Приладожья.....	76
1.3.1. Раннеорогенные (1.90–1.87 млрд лет) интрузии.....	76
1.3.1.1. Кааламский комплекс (В. И. Иващенко, А. М. Ручьев).....	76
1.3.1.2. Вялимякский комплекс (И. А. Алексеев).....	85
1.3.1.3. Куркиекский комплекс (Ш. К. Балтыбаев).....	90
1.3.2. Син- и позднеорогенные (1.88–1.85 млрд лет) интрузии (Ш. К. Балтыбаев).....	94
1.3.3. Посторогенные (около 1.80 млрд лет) интрузии (В. И. Иващенко).....	107
1.3.4. Анортозит-рапакивигранитная (1.60–1.53 млрд лет) магматическая ассоциация (А. М. Ларин).....	128
1.3.5. Иотнийский и постиотнийский (~1.46 млрд лет и моложе) магматизм (А. М. Ларин).....	145
1.4. Метаморфизм и метаморфические зоны Северного Приладожья (Ш. К. Балтыбаев).....	147
1.4.1. Зона низко-среднетемпературного метаморфизма Северного домена.....	148
1.4.2. Зона высокотемпературного метаморфизма и ультраметаморфизма Южного домена.....	152
1.5. Структуры Северного Приладожья и модели эволюции.....	162
1.5.1. Строение и структурно-метаморфическая эволюция Северного домена Приладожья в системе «чехол – фундамент» (Ю. А. Морозов, А. Л. Кулаковский, А. И. Смольская).....	162
1.5.2. Комбинированная модель диапирового и коллизионного механизма формирования гранит-мигматит-гнейсовых куполов Свекофеннского пояса в палеопротерозое (О. П. Полянский, А. В. Бабичев, Ш. К. Балтыбаев).....	180
1.6. Астроблема Янисъярви (О. В. Якубович, В. И. Иващенко, Ш. К. Балтыбаев).....	185
1.7. Акватория Ладожского озера и прилегающие территории.....	195
1.7.1. Геологическое строение Ладожского озера по данным опытно-методических и геологосъемочных работ в пределах озерной акватории (А. В. Амантов).....	195
1.7.2. Моделирование плейстоценового и голоценового развития района Ладожского озера (А. В. Амантов, М. Г. Амантова).....	198
Глава 2. ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ.....	210
2.1. Комплексные сейсмологические и сейсмические исследования глубинного строения от 1–2 метров до 40–50 км (Э. В. Исанина, Н. В. Шаров, С. И. Южанинова).....	210
2.1.1. Методика и результаты работ МОВЗ-МРС.....	212
2.1.2. Совместные работы ОГТ – МОВЗ-МРС.....	221
2.1.3. Результаты НСП Ладожского озера.....	228
2.1.4. Итоги и перспективы дальнейших исследований.....	229
2.2. Глубинные сейсмические исследования в юго-восточной части Фенноскандинавского щита (Н. В. Шаров).....	230
2.2.1. Общая характеристика полученных материалов.....	230
2.2.2. Блоковая модель земной коры региона.....	239
2.2.3. Обсуждение результатов.....	242
2.3. Скоростное строение мантии Приладожья (Т. А. Цветкова, И. В. Бугаенко).....	243
2.4. 2D-3D модели земной коры Приладожья по результатам анализа потенциальных геофизических полей (Е. Н. Черемисина, Н. Н. Пиманова, В. А. Спиридонов, Н. В. Шаров).....	247
2.5. Изучение геоэлектрического строения Приладожья.....	260

2.5.1. Экскурс в историю открытия и изучения Ладожской аномалии электропроводности (А. А. Жамалетдинов, И. И. Рокитянский, Е. Ю. Соколова)	260
2.5.2. Изучение электропроводности верхних горизонтов земной коры Северного Приладожья (А. А. Жамалетдинов, А. Н. Шевцов, В. Е. Колесников, А. А. Скороходов, Т. Г. Короткова, М. Ю. Нилов, П. А. Рязанцев, Н. В. Шаров)	267
2.5.3. Глубинные модели Ладожской аномалии электропроводности по результатам синхронных МТ-МВ зондирований на профиле Выборг – Суоярви и в юго-восточном Приладожье (Е. Ю. Соколова, М. В. Минц, Н. С. Голубцова, С. В. Зайцев, М. В. Коснырева, В. А. Куликов, П. Ю. Пушкарёв, И. И. Рокитянский, Я. В. Таран, Л. А. Золотая, А. Г. Яковлев)	284
2.6. Эволюция эндогенных процессов (Ш. К. Балтыбаев, А. М. Ларин, Ю. А. Морозов, О. П. Полянский, В. И. Иващенко, Н. В. Шаров, К. Сундблад)	302
Глава 3. МИНЕРАГЕНИЯ ЛАДОЖСКОЙ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОЙ СТРУКТУРЫ	310
3.1. Главные минерагенические системы Ладожской структуры (В. И. Иващенко)	310
3.2. Металлические полезные ископаемые	313
3.2.1. Минерагения Свеккофеннского тектоно-магматического цикла	313
3.2.1.1. Рудоносность континентально-рифтогенного черносланцево-базальтового комплекса (В. И. Иващенко)	313
3.2.1.2. Минерагения активной континентальной окраины (1.89–1.88 млрд лет) – Кааламский и Вялимякский магматические комплексы (МПП, Au, Cu, V, Fe, Ti) (В. И. Иващенко, А. М. Ручьев, И. А. Алексеев)	315
3.2.1.3. Коллизионная минерагеническая система (W, Pb, Zn, Au) (В. И. Иващенко, А. М. Ручьев)	327
3.2.1.4. Минерагения свеккофеннского посторогенного магматизма (P, Ba, Sr, CeREE, Li, Ta, Nb, Be) (В. И. Иващенко)	346
3.2.2. Минерагения Готского тектоно-магматического цикла и последующих эпох	350
3.2.2.1. Питкярантский рудный район (А. М. Ларин)	350
3.2.2.2. Новые виды минерально-сырьевых ресурсов (In, Bi, Au, Pt, Pd) Питкярантского рудного района (В. И. Иващенко)	361
3.2.2.3. Месторождения и рудопроявления в гранитах рапакиви Южной Финляндии (А. М. Ларин)	366
3.2.2.4. Эволюция рудообразования в гранитах рапакиви Северного Приладожья (А. М. Ларин)	367
3.2.2.5. Приразломные метасоматиты (В. И. Иващенко)	370
3.3. Неметаллические полезные ископаемые – промышленные минералы (В. В. Щитцов)	372
3.3.1. Генетические типы и закономерности размещения месторождений и проявлений промышленных минералов	372
3.3.2. Месторождения и проявления промышленных минералов	373
3.3.2.1. Графит	373
3.3.2.2. Высокоглиноземистое сырье	377
3.3.2.3. Пегматиты	378
3.3.2.4. Нетрадиционное полевошпатовое сырье	381
3.3.2.5. Карбонатное сырье	381
3.3.2.6. Кварц, кварциты	382
3.3.2.7. Гранат	384
3.3.2.8. Флюорит	385
3.3.2.9. Каолин	387
3.3.2.10. Промышленные минералы Элисенваарско-Вуоксинского шошонитового комплекса	387
3.3.2.11. Природный камень	389
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛАДОЖСКОЙ СТРУКТУРЫ	392
ЛИТЕРАТУРА	396
КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	430

CONTENTS

INTRODUCTION (<i>N. V. Sharov</i>)	6
LIST OF ABBREVIATIONS	8
Chapter 1. GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE NORTHERN LADOGA LAKE AREA	10
1.1. Geological structure of the Svecofennian orogen-Karelian Craton conjugation zone, North and South domains of the Ladoga Lake area (<i>Sh. K. Baltybaev</i>)	10
1.2. Stratigraphic units	15
1.2.1. Introduction. The Archean. The Lower and Upper Karelian (<i>Sh. K. Baltybaev</i>)	15
1.2.2. The Proterozoic, Sortavala series (<i>I. K. Kotova, A. S. Voinov, I. A. Alexeyev</i>)	18
1.2.3. The Proterozoic, Ladoga series (<i>T. A. Myskova, P. A. Lvov</i>)	28
1.2.4. The Proterozoic, Lahdenpohja series (<i>Sh. K. Baltybaev</i>)	43
1.2.5. Regional correlation of Kalevian rock sequences in the northern Ladoga Lake area and adjacent Finland (<i>T. Lehtilä, K. Sundblad</i>)	50
1.2.6. Mesoproterozoic, Lower Riphean – Jotnian (<i>V. I. Ivashchenko, A. M. Larin</i>)	73
1.3. Igneous complexes of the northern Ladoga Lake area	76
1.3.1. Early orogenic (1.90–1.87 Ga) intrusions	76
1.3.1.1. Kaalamk complex (<i>V. I. Ivashchenko, A. M. Ruchyev</i>)	76
1.3.1.2. Välimäki complex (<i>I. A. Alexeyev</i>)	85
1.3.1.3. Kurkijoki complex (<i>Sh. K. Baltybaev</i>)	90
1.3.2. Syn- and late orogenic (1.88–1.85 Ga) intrusions (<i>Sh. K. Baltybaev</i>)	94
1.3.3. Post-orogenic (ca. 1.80 Ga) intrusions (<i>V. I. Ivashchenko</i>)	107
1.3.4. Anorthosite-rapakivi granite (1.60–1.53 Ga) igneous association (<i>A. M. Larin</i>)	128
1.3.5. Jotnian and post-Jotnian (~1.46 Ga and younger) magmatism (<i>A. M. Larin</i>)	145
1.4. Metamorphism and metamorphic zones of the northern Ladoga Lake area (<i>Sh. K. Baltybaev</i>)	147
1.4.1. Low- to mid-temperature metamorphic zone of the North Domain	148
1.4.2. High-temperature metamorphic and ultrametamorphic zone of the South Domain	152
1.5. Northern Ladoga Lake structures and evolution models	162
1.5.1. Structure and structural-metamorphic evolution of the North Domain of the Ladoga Lake area in the "cover-basement" system (<i>Yu. A. Morozov, A. L. Kulakovsky, A. I. Smulskaya</i>)	162
1.5.2. Combined model of the diapir and collision mechanism of formation of the granite-migmatite-gneiss domes of the Svecofennian Belt in the Paleoproterozoic (<i>O. P. Polyansky, A. V. Babichev, Sh. K. Baltybaev</i>)	180
1.6. Janisjärvi astrobleme (<i>O. V. Yakubovich, V. I. Ivashchenko, Sh. K. Baltybaev</i>)	185
1.7. Ladoga Lake basin and adjacent areas	195
1.7.1. Geological structure of Ladoga Lake based on experimental and methodological study and geological survey in the lake basin (<i>A. V. Amantov</i>)	195
1.7.2. Modelling the Pleistocene and Holocene evolution of the Ladoga Lake area (<i>A. V. Amantov, M. G. Amantova</i>)	198
Chapter 2. DEEP STRUCTURE OF THE EARTH CRUST AND THE UPPER MANTLE AS SHOWN BY GEOPHYSICAL DATA	210
2.1. Integrated seismological and seismic studies of the deep structure at a depth of 1–2 m to 40–50 km (<i>E. V. Isanina, N. V. Sharov, S. I. Yuzhaninova</i>)	210
2.1.1. Methods and results of ECW-PSM studies	212
2.1.2. Joint CDP – ECW-PSM studies	221
2.1.3. Results of the GSP of Ladoga Lake	228
2.1.4. Results and further research prospects	229
2.2. Deep seismic studies in the southeastern Fennoscandian Shield (<i>N. V. Sharov</i>)	230
2.2.1. General description of the data obtained	230
2.2.2. Block crustal model of the region	239
2.2.3. Discussion of results	242
2.3. Velocity mantle structure of the Ladoga Lake area (<i>T. A. Tsvetkova, I. V. Bugayenko</i>)	243
2.4. 2D–3D crustal models of the Ladoga Lake area based on analysis of potential geophysical fields (<i>E. N. Cheremisina, N. N. Pimanova, V. A. Spiridonov, N. V. Sharov</i>)	247
2.5. Study of the geoelectrical structure of the Ladoga Lake area	260
2.5.1. Discovery and study of the Ladoga electrical conductivity anomaly: background (<i>A. A. Zhamaleidinov, I. I. Rokityansky, E. Yu. Sokolova</i>)	260

2.5.2. Study of the electrical conductivity of the upper crustal horizons of the northern Ladoga Lake area (A. A. Zhamaletdinov, A. N. Shevtsov, V. E. Kolesnikov, A. A. Skorokhodov, T. G. Korotkova, M. Yu. Nilov, P. A. Ryazantsev, N. V. Sharov)	267
2.5.3. Crustal electrical conductivity models of the Ladoga Lake area based on the results of 2013–2017 prospecting and deep magnetotelluric and magnetovariation soundings (E. Yu. Sokolova, M. V. Mints, N. S. Golubtsova, S. V. Zaitsev, M. V. Kosnyreva, V. A. Kulikov, P. Yu. Pushkarev, I. I. Rokityansky, Ya. V. Taran, L. A. Zolotaya, A. G. Yakovlev)	284
2.6. Evolution of endogenic processes (Sh. K. Baltybaev, A. M. Larin, Yu. A. Morozov, O. P. Polyansky, V. I. Ivashchenko, N. V. Sharov, K. Sundblad)	302
Chapter 3. MINERALOGENY OF THE PALEOPROTEROZOIC LADOGA STRUCTURE	310
3.1. Major mineralogenic systems of the Ladoga Structure (V. I. Ivashchenko)	310
3.2. Metalliferous useful minerals	313
3.2.1. Mineralogy of the Svecofennian tectono-magmatic cycle	313
3.2.1.1. Ore potential of the continental rift-related black shale-basalt complex (V. I. Ivashchenko)	313
3.2.1.2. Mineralogy of the active continental margin (1.89–1.88 Ga) – Kaalamo and Vällimäki igneous complexes (PGM, Au, Cu, V, Fe, Ti) (V. I. Ivashchenko, A. M. Ruchyev, I. A. Alexeyev)	315
3.2.1.3. Collisional mineralogenic system (W, Pb, Zn, Au) (V. I. Ivashchenko, A. M. Ruchyev)	327
3.2.1.4. Mineralogy of Svecofennian post-orogenic magmatism (P, Ba, Sr, CeREE, Li, Ta, Nb, Be) (V. I. Ivashchenko)	346
3.2.2. Mineralogy of the Gothian tectono-magmatic cycle and subsequent epochs	350
3.2.2.1. Pitkäranta Ore Province (A. M. Larin)	350
3.2.2.2. New types of mineral resources (In, Bi, Au, Pt, Pd) of the Pitkäranta Ore Province (V. I. Ivashchenko)	361
3.2.2.3. Ore deposits and occurrences in the rapakivi granites of Southern Finland (A. M. Larin)	366
3.2.2.4. Evolution of ore formation in the rapakivi granites of the northern Lake Ladoga area (A. M. Larin)	367
3.2.2.5. Near-fault metasomatic rocks (V. I. Ivashchenko)	370
3.3. Non-metalliferous useful minerals – industrial minerals (V. V. Shchiptsov)	372
3.3.1. Genetic types and distribution pattern of industrial mineral deposits and occurrences	372
3.3.2. Industrial mineral deposits and occurrences	373
3.3.2.1. Graphite	373
3.3.2.2. High-alumina raw materials	377
3.3.2.3. Pegmatites	378
3.3.2.4. Non-conventional feldspar material	381
3.3.2.5. Carbonate raw material	381
3.3.2.6. Quartz and quartzites	382
3.3.2.7. Garnet	384
3.3.2.8. Fluorite	385
3.3.2.9. Kaolin	387
3.3.2.10. Industrial minerals of the Elisenvaara-Vuoksa complex	387
3.3.2.11. Dimension stone	389
FURTHER RESEARCH PROSPECTS OF THE LADOGA STRUCTURE	392
REFERENCES	396
BRIEF INFORMATION ABOUT THE AUTHORS	430