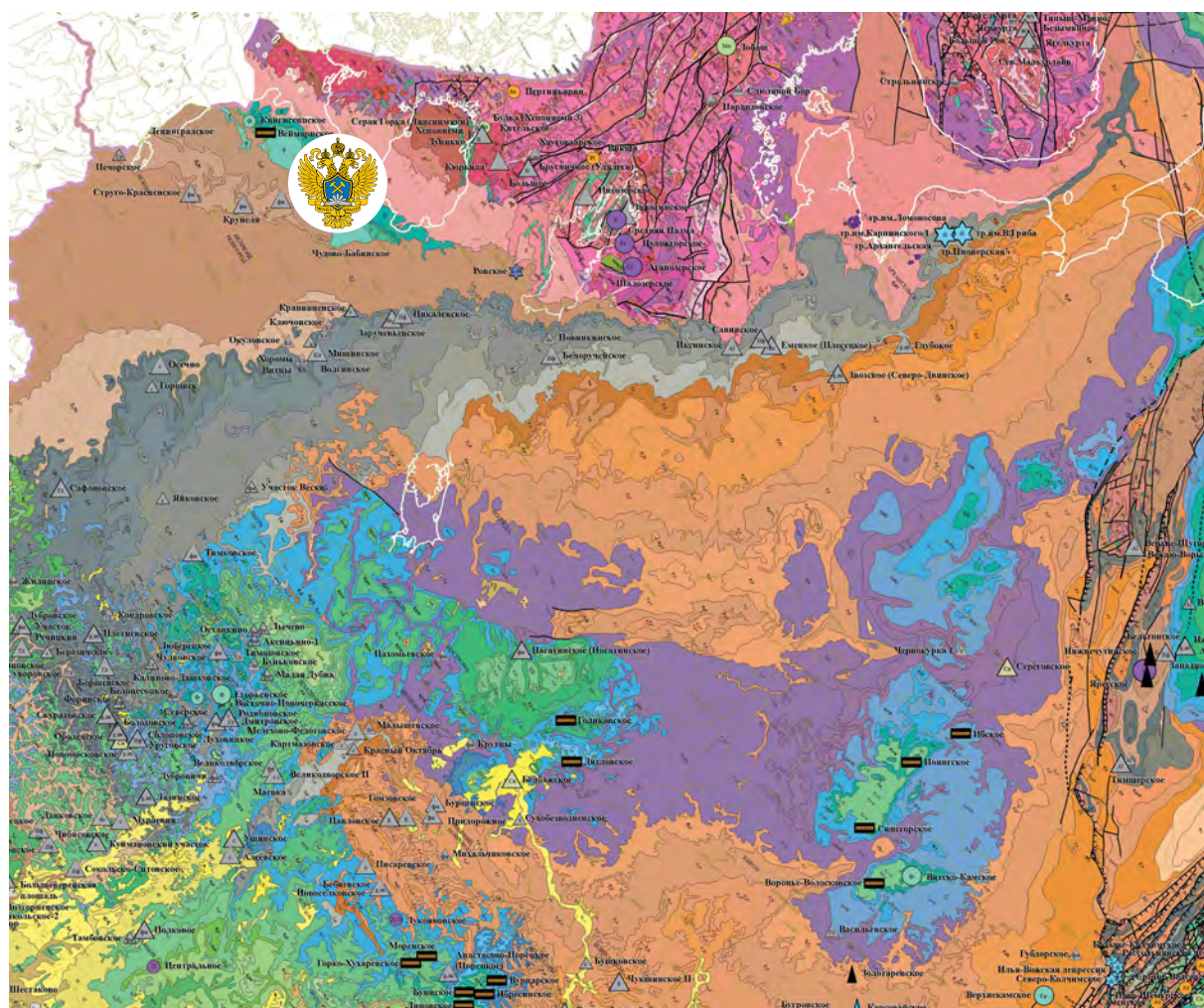


# РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Российский научный журнал | Russian scholarly journal | Том 31 | № 4 (100)

ВСЕРОССИЙСКИЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
им. А. П. КАРПИНСКОГО

Стр. 7

Итоги государственного геологического картографирования масштаба 1 : 1 000 000  
(третье поколение) территории Российской Федерации и ее континентального шельфа

Стр. 126

Оценка перспектив рудоносности гранитоидных комплексов территории  
Российской Федерации на золото-медно-порфировое оруденение по результатам  
изотопно-геохимического изучения акцессорных цирконовТОМ 31  
№ 4 (100)

2024

ISSN 0869-7892 (Print)

# РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Российский научный журнал

# REGIONAL GEOLOGY and METALLOGENY

Russian scholarly journal

Основан в 1993 году

Founded in 1993

Учредитель — Всероссийский научно-исследовательский  
геологический институт им. А. П. Карпинского

Founder — All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky

**Том 31**

**N° 4 (100) 2024**

Выходит 4 раза в год

**Volume 31**

**no. 4 (100) 2024**

Issued 4 times a year

Санкт-Петербург

St. Petersburg

## Главные редакторы:

**П. В. Химченко**, канд. техн. наук,  
ФГБУ «Институт Карпинского» (Санкт-Петербург, Россия)

**М. А. Ткаченко**, канд. геол.-минерал. наук,  
ФГБУ «Институт Карпинского» (Санкт-Петербург, Россия)

## Заместители главных редакторов:

**Т. Ю. Толмачева**, д-р геол.-минерал. наук,  
ФГБУ «Институт Карпинского» (Санкт-Петербург, Россия)

**В. И. Леонтьев**, канд. геол.-минерал. наук,  
ФГБУ «Институт Карпинского» (Санкт-Петербург, Россия)

## Редакционный совет:

**В. В. Аркадьев**, д-р геол.-минерал. наук,  
Санкт-Петербургский государственный университет  
(Санкт-Петербург, Россия)

**Г. С. Бискэ**, д-р геол.-минерал. наук,  
Санкт-Петербургский государственный университет  
(Санкт-Петербург, Россия)

**Н. С. Бортников**, д-р геол.-минерал. наук, акад. РАН,  
ИГЕМ РАН (Москва, Россия)

**В. И. Вялов**, д-р геол.-минерал. наук,  
ФГБУ «Институт Карпинского» (Санкт-Петербург, Россия)

**А. С. Егоров**, д-р геол.-минерал. наук, проф.,  
Горный университет (Санкт-Петербург, Россия)

**О. К. Ермилова**, ФГБУ «Институт Карпинского»  
(Санкт-Петербург, Россия)

**Р. Зельтманн**, д-р естествознания, проф.,  
Музей естествознания (Лондон, Великобритания)

**С. Н. Кашубин**, д-р геол.-минерал. наук, проф.,  
ФГБУ «Институт Карпинского» (Санкт-Петербург, Россия)

**А. Б. Котов**, д-р геол.-минерал. наук, проф.,  
чл.-кор. РАН, ИГГД РАН (Санкт-Петербург, Россия)

**А. И. Ларичев**, канд. геол.-минерал. наук,  
ФГБУ «Институт Карпинского» (Санкт-Петербург, Россия)

**Ю. Б. Миронов**, д-р геол.-минерал. наук,  
ФГБУ «Институт Карпинского» (Санкт-Петербург, Россия)

**А. В. Молчанов**, д-р геол.-минерал. наук,  
ФГБУ «Институт Карпинского» (Санкт-Петербург, Россия)

**В. Ф. Проскурнин**, д-р геол.-минерал. наук,  
ФГБУ «Институт Карпинского» (Санкт-Петербург, Россия)

**А. Ю. Розанов**, д-р геол.-минерал. наук, проф., акад. РАН,  
ПИН РАН (Москва, Россия)

**А. П. Сысоев**, д-р техн. наук, Горный университет  
(Санкт-Петербург, Россия)

**А. И. Ханчук**, д-р геол.-минерал. наук, проф., акад. РАН,  
ДВГИ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

**А. К. Худoley**, д-р геол.-минерал. наук,  
Санкт-Петербургский государственный университет  
(Санкт-Петербург, Россия)

**В. В. Шатов**, канд. геол.-минерал. наук,  
ФГБУ «Институт Карпинского» (Санкт-Петербург, Россия)

**В. В. Шиманский**, д-р геол.-минерал. наук, проф.,  
ФГБУ «ВНИГНИ» (Санкт-Петербург, Россия)

## Editors-in-Chief:

**P. V. Khimchenko**, PhD (Engineering),  
Karpinsky Institute (St. Petersburg, Russia)

**M. A. Tkachenko**, PhD (Geology and Mineralogy),  
Karpinsky Institute (St. Petersburg, Russia)

## Deputy Editors-in-Chief:

**T. Yu. Tolmacheva**, DSc (Geology and Mineralogy),  
Karpinsky Institute (St. Petersburg, Russia)

**V. I. Leontyev**, PhD (Geology and Mineralogy),  
Karpinsky Institute (St. Petersburg, Russia)

## Editorial Council:

**V. V. Arkadyev**, DSc (Geology and Mineralogy),  
Saint-Petersburg University  
(St. Petersburg, Russia)

**G. S. Biske**, DSc (Geology and Mineralogy),  
Saint-Petersburg University  
(St. Petersburg, Russia)

**N. S. Bortnikov**, DSc (Geology and Mineralogy),  
Acad. of RAS, IGEM RAS (Moscow, Russia)

**V. I. Vyalov**, DSc (Geology and Mineralogy),  
Karpinsky Institute (St. Petersburg, Russia)

**A. S. Egorov**, DSc (Geology and Mineralogy), Prof.,  
Saint-Petersburg Mining University (St. Petersburg, Russia)

**O. K. Ermilova**, Karpinsky Institute  
(St. Petersburg, Russia)

**R. Seltmann**, PhD (Dr. rer. nat.), Prof.,  
Natural History Museum (London, UK)

**S. N. Kashubin**, DSc (Geology and Mineralogy), Prof.,  
Karpinsky Institute (St. Petersburg, Russia)

**A. B. Kotov**, DSc (Geology and Mineralogy), Prof.,  
Corr. Mem. of RAS, IPGG RAS (St. Petersburg, Russia)

**A. I. Larichev**, PhD (Geology and Mineralogy),  
Karpinsky Institute (St. Petersburg, Russia)

**Yu. B. Mironov**, DSc (Geology and Mineralogy),  
Karpinsky Institute (St. Petersburg, Russia)

**A. V. Molchanov**, DSc (Geology and Mineralogy),  
Karpinsky Institute (St. Petersburg, Russia)

**V. F. Proskurnin**, DSc (Geology and Mineralogy),  
Karpinsky Institute (St. Petersburg, Russia)

**A. Yu. Rozanov**, DSc (Geology and Mineralogy), Prof.,  
Acad. of RAS, PIN RAS (Moscow, Russia)

**A. P. Sysoev**, DSc (Engineering),  
Saint-Petersburg Mining University (St. Petersburg, Russia)

**A. I. Khanchuk**, DSc (Geology and Mineralogy), Prof.,  
Acad. of RAS, FEGI FEB RAS (Vladivostok, Russia)

**A. K. Khudoley**, DSc (Geology and Mineralogy),  
Saint-Petersburg University  
(St. Petersburg, Russia)

**V. V. Shatov**, PhD (Geology and Mineralogy),  
Karpinsky Institute (St. Petersburg, Russia)

**V. V. Shimanskiy**, DSc (Geology and Mineralogy), Prof.,  
VNIGNI (St. Petersburg, Russia)

Журнал «Региональная геология и металлогения» включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Журнал включен в национальную библиографическую базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), доступную в сети Интернет по адресу: <https://elibrary.ru/> (Научная электронная библиотека).

При перепечатке ссылка на журнал «Региональная геология и металлогения» обязательна.  
Точка зрения редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

*Regional Geology and Metallogeny* is included in the list of peer-reviewed journals that publish the main research findings of PhD and doctoral dissertations.

The journal is included in the national bibliographic database Russian Science Citation Index (RSCI) available online at <https://elibrary.ru/> (Scientific electronic library).

When copying materials, refer to the journal *Regional Geology and Metallogeny*.  
The editorial team's viewpoint may not coincide with the article writers' opinions.



## УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского»  
© Все права защищены  
ISSN 0869-7892 (Print)

## FOUNDER AND PUBLISHER

Federal State Budgetary Enterprise  
“All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky”  
© All rights reserved  
ISSN 0869-7892 (Print)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации  
ПИ № ФС77-82858 от 31.03.2022 выдано Федеральной службой  
по надзору в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

The Federal Service for Supervision of Communications,  
Information Technology,  
and Mass Media (Roskomnadzor) issued  
Reg. No. ПИ ФС77-82858 dated 31.03.2022.

## АДРЕС РЕДАКЦИИ И ИЗДАТЕЛЯ

199106, Россия, Санкт-Петербург, Средний пр., 74  
Научный журнал «Региональная геология и металлогения»  
Тел. +7 (812) 328-90-90, доб. 2323  
E-mail: izdatel@karpinskyinstitute.ru  
Сайт журнала: <https://reggeomet.ru/>

## EDITORIAL AND PUBLISHER'S OFFICES

74 Sredny pr., St. Petersburg, Russia, 199106  
Scholarly Journal *Regional Geology and Metallogeny*  
Tel. +7 (812) 328-90-90, ext. 2323  
E-mail: izdatel@karpinskyinstitute.ru  
Official website: <https://reggeomet.ru/en/>

## РЕДАКЦИЯ

Заведующий издательством О. В. Ярцева  
Научный редактор Е. Е. Зорина, канд. пед. наук, доц.  
Выпускающий редактор О. Н. Алексеева  
Литературные редакторы Е. А. Зотова, А. А. Миндрик  
Верстальщик А. С. Смирнова  
Технический редактор А. С. Смирнова

Оформление обложки А. М. Жерлицина  
с использованием Единой геолого-картографической модели  
территории Российской Федерации и ее континентального шельфа

## EDITORIAL TEAM

Head of Publishing House O. V. Yartseva  
Science editor E. E. Zorina, PhD (Education), Assoc. Prof.  
Production editor O. N. Alekseeva  
Literary editors E. A. Zotova, A. A. Mindrik  
Layout designer A. S. Smirnova  
Technical editor A. S. Smirnova

Cover design by A. M. Zherlitsina  
The cover design source is the Unified geological-cartographic model  
of the Russian Federation and its continental shelf.

## ТИПОГРАФИЯ

Отпечатано на Санкт-Петербургской картографической фабрике  
Института Карпинского  
199178, Россия, Санкт-Петербург, Средний пр., 72  
Тел. +7 (812) 328-91-90  
E-mail: karta@karpinskyinstitute.ru  
Сайт: <https://kf-karpinsky.ru/>

## PRINTING HOUSE

Printed at Saint Petersburg Cartographic Factory  
of Karpinsky Institute  
72 Sredny pr., Saint Petersburg, Russia, 199178  
Tel. +7 (812) 328-91-90  
E-mail: karta@karpinskyinstitute.ru  
Official website: <https://kf-karpinsky.ru/>

## ПОДПИСКА

Подписка на научный журнал осуществляется через каталог  
подписного агентства «Урал-Пресс» (подписной индекс — 015348).

Издается с 1993 года.  
Выходит ежеквартально (четыре раза в год).  
Свободная цена.

Подписано в печать 28.12.2024. Дата выхода в свет 24.01.2025.  
Печ. л. 18,75. Уч.-изд. л. 29,71. Формат 60×84/8.  
Тираж 128 экз. Заказ № 80000844.

## SUBSCRIPTION

Subscription of the journal is available via the Ural-Press agency  
(subscription index — 015348).

It has been published since 1993.  
It is a quarterly journal (four issues per year).  
Free of charge.

Signed to print 28.12.2024. Published 24.01.2025.  
Printer's sheet 18.75. Publisher's record sheet 29.71. Format 60×84/8.  
Circulation 128 copies. Order No. 80000844.



*Уважаемые авторы и читатели, коллеги и друзья!*

Поздравляем вас с Новым годом и Рождеством!  
Пусть наступающий год станет залогом успешного  
продолжения всех ваших начинаний, эпохой ярких свершений,  
позитивных перемен, знаковых событий и больших побед  
на благо нашей страны!

Желаем вам упорства в достижении поставленных целей,  
крепости духа, неиссякаемой энергии и оптимизма  
в профессиональной деятельности и успеха в решении  
поставленных задач!

Пусть каждый день будет наполнен удовлетворением от работы,  
новыми победами и достижениями для нашей общей цели —  
развития отечественной геологии!

*Главные редакторы журнала  
«Региональная геология и металлогения»*

*П. В. Химченко  
М. А. Ткаченко*



## СОДЕРЖАНИЕ

### РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

---

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Б. И. Королев, П. В. Химченко, Т. Н. Зубова, И. В. Вербицкий</i><br>Итоги государственного геологического картографирования масштаба 1 : 1 000 000<br>(третье поколение) территории Российской Федерации и ее континентального шельфа .....                                                                             | 7   |
| <i>В. В. Снежко, П. В. Химченко, М. А. Ткаченко, О. Н. Снежко, Е. А. Коваленко</i><br>Единая геолого-картографическая модель территории Российской Федерации<br>и ее континентального шельфа .....                                                                                                                         | 23  |
| <i>Е. Д. Мильштейн, Е. А. Андросов, С. Н. Кашубин, И. В. Кудрявцев</i><br>Комплект карт глубинного строения территории Российской Федерации<br>и ее континентального шельфа .....                                                                                                                                          | 36  |
| <i>Г. А. Бабин, А. Г. Пахалко, А. А. Соболева, А. Е. Цыбульская,<br/>М. Э. Кутырева, Г. А. Олейникова, В. Б. Хубанов, С. А. Сергеев</i><br>Программа систематических изотопно-геохимических и геохронологических исследований<br>геологических комплексов территории России: методы и первые результаты 2022–2024 гг. .... | 59  |
| <i>В. И. Шпикерман</i><br>Тектогенез и магматизм протерозоя и начала палеозоя Верхояно-Колымской<br>складчато-надвиговой области: новые данные по результатам геологического<br>картографирования масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение) .....                                                                          | 73  |
| <i>В. А. Жамойда, А. Ю. Сергеев, Л. М. Буданов, Д. В. Рябчук,<br/>А. Г. Григорьев, И. А. Неевин, М. А. Мустафин</i><br>Эволюция процессов морфоседиментогенеза прибрежного шельфа Берингии<br>в условиях климатических перестроек позднечетвертичного времени .....                                                        | 95  |
| <i>Ф. Д. Лазарев, П. В. Кирплук, А. Н. Онищенко, Р. А. Леденгский, В. К. Старостин</i><br>Современная аэрогеофизическая основа — залог успешного изучения недр<br>при геологическом картировании и поисках полезных ископаемых .....                                                                                       | 115 |

### МЕТАЛЛОГЕНИЯ

---

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>В. В. Шатов, М. А. Ткаченко, Т. Н. Зубова, С. С. Шевченко, В. И. Леонтьев, Б. В. Беляцкий,<br/>Н. В. Родионов, С. А. Сергеев, А. В. Тарасов, С. И. Трушин, А. В. Козлов</i><br>Оценка перспектив рудоносности гранитоидных комплексов территории<br>Российской Федерации на золото-медно-порфировое оруденение<br>по результатам изотопно-геохимического изучения акцессорных цирконов ..... | 126 |
| <i>Е. Н. Афанасьева, Ю. Б. Миронов, А. А. Петрова, А. В. Козлов</i><br>Золото-урановое оруденение Балтийского щита .....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 147 |
| <i>Б. Е. Бураков, М. Н. Голобурдина, С. А. Граханов</i><br>Перспективы коренной алмазности Анабарского массива .....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 165 |

### ИЗ ИСТОРИИ ВСЕРОССИЙСКОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ БИБЛИОТЕКИ

---

|                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Л. В. Бердник</i><br>Автографы и экслибрисы династии горных инженеров Карпинских в фонде<br>Всероссийской геологической библиотеки ..... | 180 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## CONTENTS

### REGIONAL GEOLOGY

---

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>B. I. Korolev, P. V. Khimchenko, T. N. Zubova, I. V. Verbitskiy</i><br>Results of the state geological mapping at a scale of 1 : 1,000,000<br>(third generation) of the Russian Federation and its continental shelf .....                                                                               | 7   |
| <i>V. V. Snezhko, P. V. Khimchenko, M. A. Tkachenko, O. N. Snezhko, E. A. Kovalenko</i><br>Unified geological-cartographic model<br>of the Russian Federation and its continental shelf .....                                                                                                               | 23  |
| <i>E. D. Milshteyn, E. A. Androsov, S. N. Kashubin, I. V. Kudryavtsev</i><br>Deep structure maps of the Russian Federation and its continental shelf .....                                                                                                                                                  | 36  |
| <i>G. A. Babin, A. G. Pakhalko, A. A. Soboleva, A. E. Tsybulskaya,<br/>M. E. Kuttyeva, G. A. Oleynikova, V. B. Khubanov, S. A. Sergeev</i><br>Program of systematic isotope, geochemical, and geochronological studies<br>of geological complexes in Russia: Methods and initial results of 2022–2024 ..... | 59  |
| <i>V. I. Shpikerman</i><br>Tectogenesis and magmatism of the Proterozoic and Early Paleozoic<br>Verkhoyansk-Kolyma Fold-Thrust region: New geological mapping data,<br>scale of 1 : 1,000,000 (third generation) .....                                                                                      | 73  |
| <i>V. A. Zhamoida, A. Yu. Sergeev, L. M. Budanov,<br/>D. V. Ryabchuk, A. G. Grigoriev, I. A. Neevin, M. A. Mustafin</i><br>Evolution of morphogenesis and sedimentation processes in the coastal shelf<br>of Beringia during Late Quaternary climatic changes .....                                         | 95  |
| <i>F. D. Lazarev, P. V. Kirplyuk, A. N. Onishchenko, R. A. Ledengskiy, V. K. Starostin</i><br>Modern airborne geophysical basement is the key to successful exploration<br>for geological mapping and mineral prospecting .....                                                                             | 115 |

### METALLOGENY

---

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>V. V. Shatov, M. A. Tkachenko, T. N. Zubova, S. S. Shevchenko, V. I. Leontev,<br/>B. V. Belyatsky, N. V. Rodionov, S. A. Sergeev, A. V. Tarasov, S. I. Trushin, A. V. Kozlov</i><br>Revealing the porphyry copper-gold potential in granitoid complexes<br>of the Russian Federation based on Porphyry Indicator Zircons (PIZs) ..... | 126 |
| <i>E. N. Afanaseva, Yu. B. Mironov, A. A. Petrova, A. V. Kozlov</i><br>Gold-Uranium mineralization in the Baltic Shield .....                                                                                                                                                                                                            | 147 |
| <i>B. E. Burakov, M. N. Goloburdina, S. A. Grakhanov</i><br>Prospects for primary diamond potential of the Anabar Massif .....                                                                                                                                                                                                           | 165 |

### HISTORY OF THE RUSSIAN GEOLOGICAL LIBRARY

---

|                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>L. V. Berdnik</i><br>Autographs and bookplates of the Karpinsky dynasty of mining engineers<br>in the collection of the Russian Geological Library ..... | 180 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|



Научная статья

УДК 550.8:528(470+26)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_7-22

**Итоги государственного геологического картографирования масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение) территории Российской Федерации и ее континентального шельфа****Б. И. Королев<sup>1</sup>, П. В. Химченко<sup>2</sup>,  
Т. Н. Зубова<sup>2</sup>, И. В. Вербицкий<sup>2</sup>✉**<sup>1</sup>Федеральное агентство по недропользованию, Москва, Россия<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,

ivan\_verbitsky@karpinskyinstitute.ru✉

**Ключевые слова:** мелкомасштабное картографирование, Государственная геологическая карта, масштаб 1 : 1 000 000, третье поколение, Цифровой двойник недр России, мониторинг геологической карты

**Для цитирования:** Итоги государственного геологического картографирования масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение) территории Российской Федерации и ее континентального шельфа / Б. И. Королев [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 7–22. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_7-22](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_7-22)

Original article

UDC 550.8:528(470+26)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_7-22



© Б. И. Королев, П. В. Химченко,  
Т. Н. Зубова, И. В. Вербицкий, 2024

**Аннотация.** В статье рассмотрены итоги мелкомасштабного картографирования в России за 30-летний период (1995–2025 гг.). Раскрыты исторические предпосылки подготовки Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения территории Российской Федерации и ее континентального шельфа, приведены основные этапы создания нормативно-методических документов по составлению и подготовке к изданию листов указанной геологической карты, дана оценка проблемных вопросов, потребовавших оперативного решения в части организационного, финансового, методического обеспечения, повышения качества и прогнозной эффективности созданной продукции. Приведены основные результаты реализации Программы создания Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения, которая стала крупнейшим этапом геологического изучения и повышения уровня мелкомасштабной изученности территории страны и ее континентального шельфа, а также развития цифрового картографирования. Созданный массив полистных цифровых материалов (248 номенклатурных листов) размещен в разделах национального геолого-картографического ресурса «Цифровой двойник недр России» и является основой для планирования средне- и крупномасштабных геологосъемочных и поисковых работ, обновления базовых сводных и обзорных карт геологического содержания, а также реализации следующего этапа мониторинга Госгеолкарты-1000 с возможностью постоянной модернизации карт в рамках единой геолого-картографической модели территории России и ее континентального шельфа.

**Results of the state geological mapping at a scale of 1 : 1,000,000 (third generation) of the Russian Federation and its continental shelf****B. I. Korolev<sup>1</sup>, P. V. Khimchenko<sup>2</sup>,  
T. N. Zubova<sup>2</sup>, I. V. Verbitskiy<sup>2</sup>✉**<sup>1</sup>Federal Subsoil Resources Management Agency, Moscow, Russia<sup>2</sup>All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia, [ivan\\_verbitsky@karpinskyinstitute.ru](mailto:ivan_verbitsky@karpinskyinstitute.ru)✉

**Keywords:** *small-scale mapping, State Geological Map, scale of 1 : 1,000,000, third generation, Digital Twin of Subsoil, geological map monitoring*

**For citation:** Results of the state geological mapping at a scale of 1 : 1,000,000 (third generation) of the Russian Federation and its continental shelf / B. I. Korolev [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024; 31 (4): 7–22. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_7-22](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_7-22)

**Abstract.** The paper presents 30-year results of small-scale mapping in Russia (1995–2025). There is a historical background for preparing the State Geological Map of the Russian Federation territory and its continental shelf at a scale of 1,000,000 (third generation); there are main stages of creating regulatory and procedural documents to compile and edit sheets of the specified geological map; the authors assess the issues requiring prompt solutions: organizational, financial, and methodological support, improving the map quality and predictive efficiency. The paper informs about the key results of implementing the Program to create the State Geological Map at a scale of 1,000,000 (third generation) as the major stage of exploring and improving the level of small-scale coverage of the country's territory and its continental shelf, as well as developing digital mapping. The national geological and cartographic resource "Digital Twin of Russian Subsoil" contains a sheeted digital data set (248 topographic sheets) and allows planning medium-scale and large-scale geological survey and exploration work, updating integrated and review geological maps, and implementing the next stage of monitoring the specified geological map, which involves updating regularly maps within the single geological and cartographic model of the Russian territory and its continental shelf.

## ВВЕДЕНИЕ

Основным масштабным уровнем системного изучения территории Российской Федерации и прилегающих акваторий является геологическое картографирование масштаба 1 : 1 000 000 с созданием комплектов Государственных геологических карт.

Инициатором составления первой полистной Государственной геологической карты СССР масштаба 1 : 1 000 000 выступил ЦНИГРИ (ВСЕГЕИ) в 1938 г. Вдохновителем и создателем детальной программы этих работ был выдающийся ученый А. П. Герасимов. По его инициативе был создан Научно-издательский совет, в задачу которого входила апробация и утверждение карт к изданию. Идея академика А. Д. Архангельского, поставившего еще в 1917 г. с учетом обширности территории России вопрос о переходе к систематическому составлению листов геологических карт масштаба 1 : 1 000 000, оказалась очень жизнеспособной и плодотворной.

Первое поколение Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 было создано в 1940–1960 гг. на всю территорию СССР (рис. 1). В период 1963–2000 гг. подготовлено второе поколение Госгеолкарты-1000 или новая серия. Это были привычные всем полиграфически изданные геологические карты (дочетвертичных и четвертичных образований) и карты полезных ископаемых, сопровождавшиеся объяснительными записками с геологической характеристикой территорий (рис. 2).

В начале 1990-х годов возник вопрос об обновлении Госгеолкарты-1000. Необходимость подготовки нового поколения карт связана с целым рядом обстоятельств: прежде всего, это моральное старение предыдущих поколений карт и их отсутствие для некоторых регионов страны и прилегающих акваторий. Кроме того, обозначился ряд факторов, вытекающих из новых экономических условий развития России.

## ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ ГОСГЕОЛКАРТЫ-1000/3

За точку отсчета начала реализации Программы создания Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения можно принять середину 1990-х годов, когда главной редакционной коллегией Министерства природных ресурсов России (далее — Главная редколлегия МПР России) были разработаны Основные положения концепции по созданию Государственной геологической карты России масштаба 1 : 1 000 000 (Госгеолкарта-1000/3), которые были утверждены постановлением Коллегии Роскомнедр от 19 декабря 1995 г. № 18-2.

Согласно «Основным положениям концепции...» третье поколение Госгеолкарты-1000 планировалось реализовать как геолого-картографическую информационную систему с возможностью постоянной модернизации карт по группам листов, охватывающим крупные геологические структуры, и расширением информационной емкости комплектов, которые должны содержать базовые карты: дочетвертичных, четвертичных образований, полезных ископаемых, закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых, литологическую карту поверхности дна акватории. Предусматривались дополнительные карты и схемы комплектов в соответствии с особенностями геологического строения, их народнохозяйственного значения или перспективами освоения.

Позднее приказом МПР России от 05.02.1998, № 27 утверждены Схема районирования территории Российской Федерации на серии листов Госгеолкарты-1000 нового поколения и полистная международная разграфка (рис. 3), согласно которым общая площадь территории России, дна акваторий внутренних бассейнов, континентального шельфа и островов в пределах экономической зоны Российской Федерации включает 246 номенклатурных листов Госгеолкарты-1000/3.

Концептуальными и (в дальнейшем) нормативными документами, разработанными на рубеже тысячелетий, были определены основные черты комплексов карт третьего поколения, в числе которых — создание Госгеолкарты в цифровом виде с сопровождающими базами данных; переход от картирования подразделений общей стратиграфической шкалы к местным подразделениям, в том чис-

ле имеющим рудоконтролирующую и рудовмещающую специализацию; отображение структурно-вещественных характеристик картируемых подразделений, отображение на картах данных о строении не только территории суши, но и дна прилегающих акваторий внутренних морей, арктических морей и Северного Ледовитого океана, массовое внедрение изотопно-геохимических и геохронологических

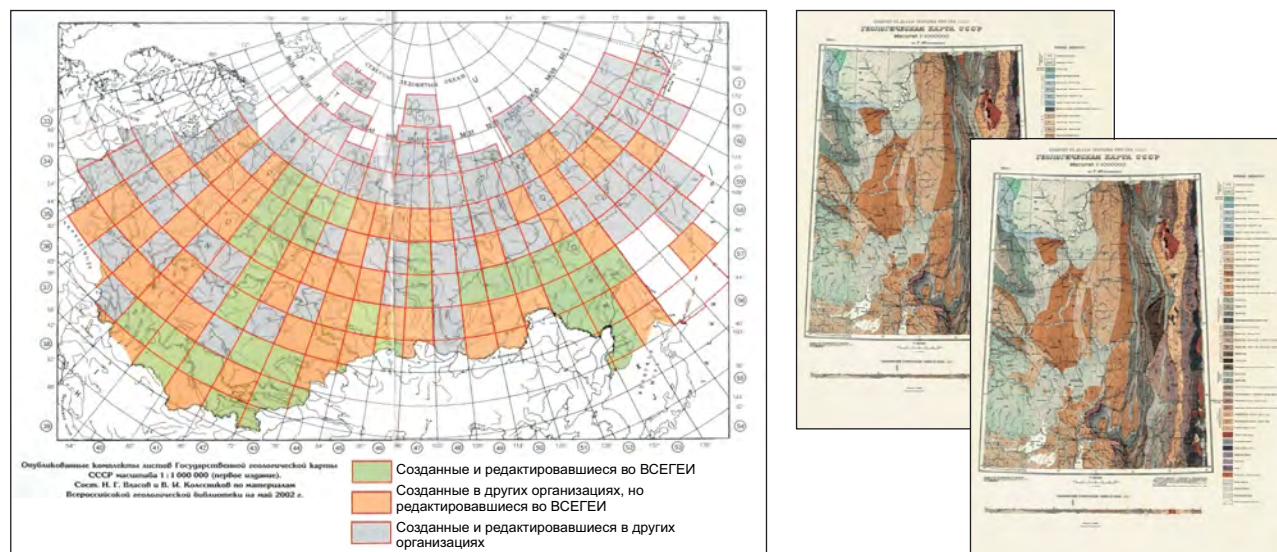


Рис. 1. Состояние изученности Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 (первое издание) территории СССР  
Источник: [1]

Fig. 1. Coverage of the USSR territory by the State Geological Map at a scale of 1 : 1,000,000 (first edition)

Source: [1]

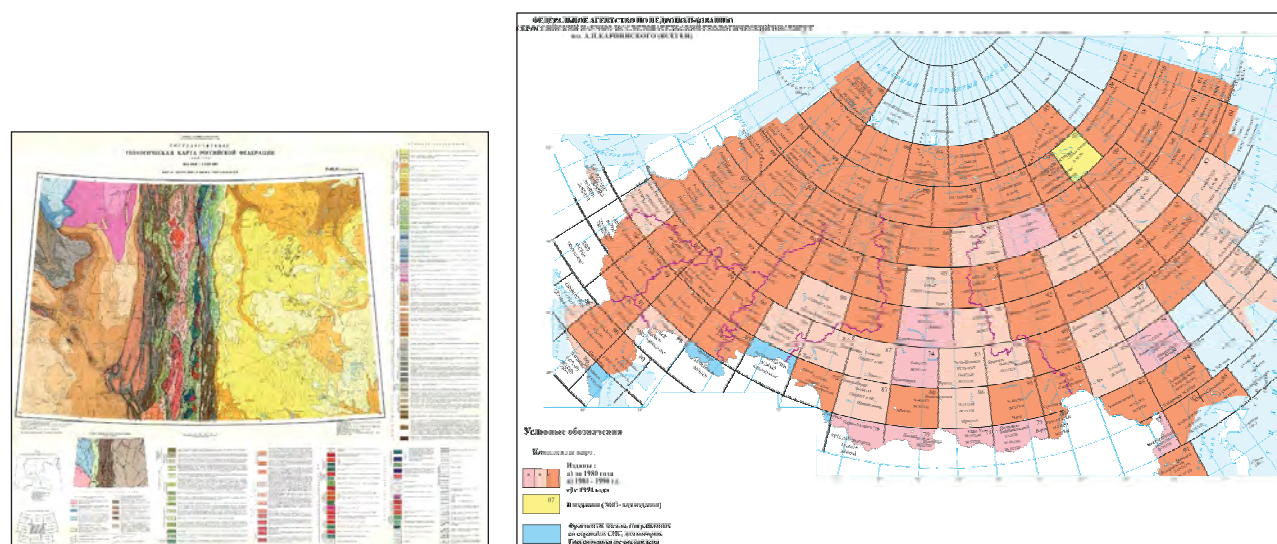


Рис. 2. Состояние изученности Государственной геологической картой масштаба 1 : 1 000 000 (новая серия) территории Российской Федерации

Источник: [2]

Fig. 2. Coverage of the Russian Federation territory by the State Geological Map at a scale of 1 : 1,000,000 (new series)

Source: [2]



исследований, полевые работы на опорных участках с целью уточнения региональных особенностей геологического строения и минерализации для оценки нераскрытого потенциала полезных ископаемых.

В создании этих документов огромную роль сыграли А. Ф. Морозов, А. Ф. Карпузов (МПР России), В. К. Путинцев, Е. А. Киселев, В. В. Старченко, С. И. Стрельников, Е. К. Ковригина, Б. А. Марковский, И. М. Мигович, В. Р. Вербицкий, Г. В. Брехов, Г. М. Шапошников, С. П. Шокальский, М. А. Шишкин (ВСЕГЕИ), О. П. Дундо, Б. Г. Лопатин (ВНИИОкеангеология). При создании нормативной базы государственного геологического картографирования масштаба 1 : 1 000 000 учитывались предложения и замечания, поступающие от геологов-практиков из многочисленных предприятий страны.

Технология создания Госгеолкарты-1000/3 для обеспечения преемственности базируется на интеграции материалов Госгеолкарты-200 (первого и второго изданий), Госгеолкарты-1000 (новая серия) и материалов геологических съемок масштаба 1 : 50 000, выполненных после составления Госгеолкарты-1000 (новая серия).

Производственные работы по геологическому картографированию масштаба 1 : 1 000 000 с созданием комплектов Госгеолкарты-1000/3 были начаты в 2002 г.; с 2006 г. они выполнялись в соответствии с программным документом «Основные

направления развития работ общегеологического и специального назначения по региональному изучению недр суши, континентального шельфа Российской Федерации, Арктики и Антарктики на период до 2020 года», утвержденным приказом МПР России от 26.12.2006, № 292.

С 2012 г. работы включены в мероприятия Государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов» (далее — ГП ВИПР), показателями которой предусматривались сроки достижения 100-процентного уровня мелкомасштабной изученности территории Российской Федерации и ее континентального шельфа с созданием комплектов Госгеолкарты-1000/3 на 246 номенклатурных листов до 2020 г. Однако, с учетом сокращения финансового обеспечения мероприятий ГП ВИПР, сроки завершения Программы Госгеолкарты-1000/3 «сместились» на 2024–2025 гг.

Ниже авторами статьи дается оперативная оценка результатов государственного геологического картографирования масштаба 1 : 1 000 000, полученных за 22 года (2002–2024 гг.), а также организационного, финансового, методического обеспечения, качества и прогнозной эффективности созданной продукции.

В реализации Программы Госгеолкарты-1000/3 наряду с ФГБУ «ВСЕГЕИ» (ныне ФГБУ «Институт Карпинского») и ФГБУ «ВНИИОкеангеология» приняли участие многочисленные геологические предприятия

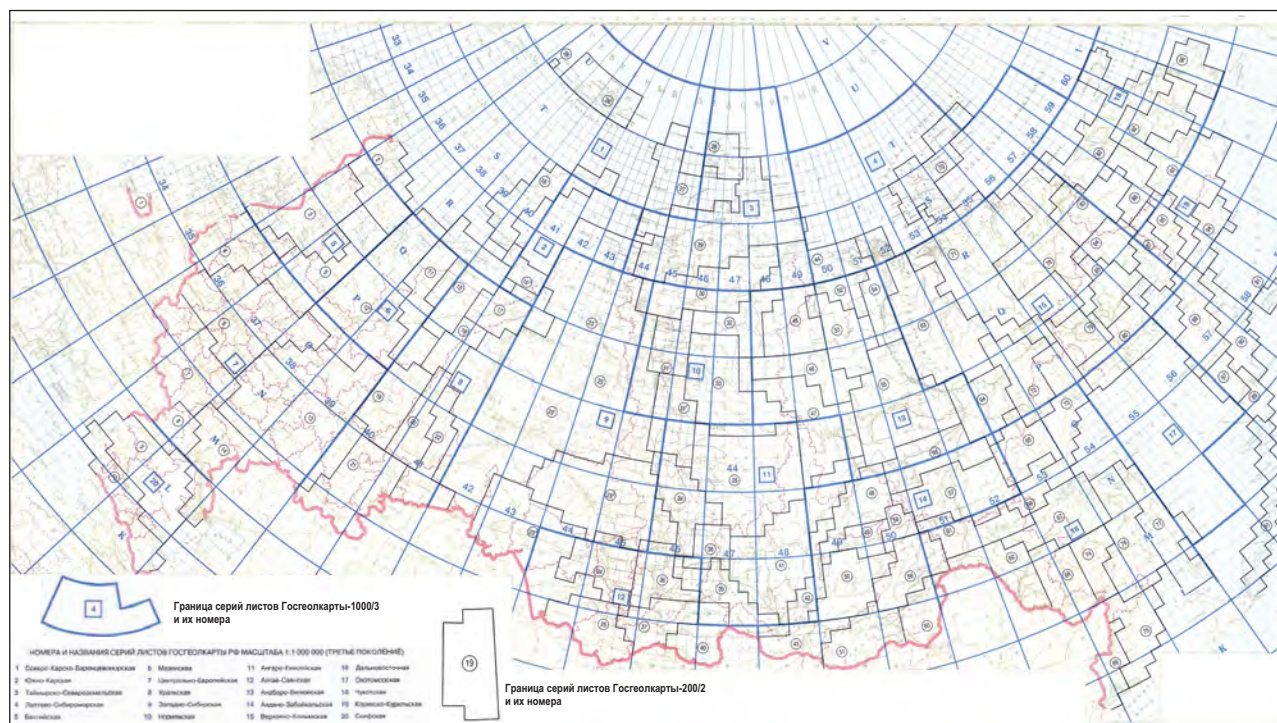


Рис. 3. Схема районирования территории Российской Федерации на серии листов Госгеолкарты-1000 нового поколения (утверждена приказом МПР России от 5 февраля 1998 г. № 27)

Источник: [2]

Fig. 3. Zoning diagram of the Russian Federation territory on sheet series of the State Geological Map at a scale of 1,000,000 (new generation) (approved by the Natural Resources Ministry of Russia on 5 February 1998, Order No. 27)

Source: [2]

тия отрасли, АО «Росгеологии», институты Российской академии наук и профильные вузы страны.

Большую роль в координации работ и обеспечении качества картографической продукции сыграли руководители проектов и коллегия научных и главных редакторов комплектов и легенд серий листов Госгеолкарты-1000 (рис. 4).

Фактические расходы федерального бюджета с 2002 по 2024 год на мероприятия ГП ВИПР, направленные на реализацию Программы Госгеолкарты-1000/3, составили 8,2 млрд руб., из них 55 % — на картографирование территории суши, 30 % — на континентальный шельф, 15 % — на создание опережающих геофизических, геохимических и дистанционных основ (рис. 5). С 2020 г. отмечается постепенное снижение финансирования Программы Госгеолкарты-1000/3 в связи с ее завершением к 2025 г.

На начальном этапе работы по созданию Госгеолкарты-1000/3 выполнялись по государственным контрактам. В состав первых укрупненных объектов (2002–2007 гг.) сразу было включено 45 номенклатурных листов на площади основных горнорудных и экономически освоенных регионов России, а также части акваторий и островов Арктики, что составило 20 % от площади территории Российской Федерации и ее континентального шельфа.

С учетом высокой степени изученности первых листов, введенных в производство, создание комплектов Госгеолкарты-1000/3 осуществлялось камеральным путем на основе материалов предшественников с ограниченным объемом полевых и лабораторно-аналитических работ. Это были самые «дешевые» листы; их фактическая стоимость не превышала 10 млн руб. (в ценах того периода).

Одной из организационных проблем на начальном этапе реализации Программы были высокие темпы ввода номенклатурных листов в производство, их территориальная разобщенность и ограниченные кадровые возможности геологических предприятий отрасли. Кроме того, создание комплектов Госгеолкарты-1000/3 велось одновременно с разработкой регламентирующей нормативно-методической базы, составлением легенд по сериям листов, их минералогических блоков. Все это привело к ситуации, когда листы вводились в работу по одним оценочным параметрам, а завершались по другим.

Эти обстоятельства повлекли за собой наличие неувязок между смежными листами Госгеолкарты-1000/3, составленными с интервалом в 6–7 лет разными коллективами с разными авторскими подходами и представлениями о геологическом строении территорий. Активное внедрение цифровых технологий в государственное картографирование также привело к различию форматов и вида представления цифровых моделей комплектов Госгеолкарт, первичных и сопровождающих баз данных.

Постепенное увеличение с 2005 г. выделяемых на ГП ВИПР средств федерального бюджета открыло возможность оптимизировать стоимость работ по созданию Госгеолкарты-1000/3, что уже с 2010 г. (когда фактическая стоимость листа составила

35–37 млн руб.) позволило усилить объемы полевых работ и лабораторно-аналитических исследований (рис. 6). Именно с этого периода начался этап картографирования удаленных районов с недостаточной степенью изученности, полномасштабного применения методов изотопно-геохимических, геохронологических, стратиграфо-палеонтологических, металлогенических исследований опорных объектов, дающих прирост новой информации о геологическом строении и минерации.

Полученный опыт работ в рамках первых объектов регулярно обсуждался на Всероссийских совещаниях, проводимых на площадке Института раз в 2 года и лег в основу усовершенствования регламентирующей нормативно-методической базы мелкомасштабного картографирования. Последние из таких совещаний, в том числе с рассмотрением результатов работ по Программе Госгеолкарты-1000 и дальнейших планов, прошли в 2023–2024 гг. (рис. 7).

К началу второго этапа (2010–2012 гг.) завершилось создание регламентирующих документов. Достижением этого периода является создание Эталонной базы изобразительных средств Госгеолкарты как основы унификации графического оформления карт и схем геологического содержания. Вместе с тем развитие технологий цифрового картирования и формирования баз данных продолжалось, что влекло за собой дальнейшую актуализацию нормативных документов вплоть до 2024 г. (рис. 8).

Также за последние 10 лет со стороны Главной редколлегии и Научно-редакционного совета Роснедр (далее — НРС Роснедр) был существенно усилен контроль за устранением смысловых и технических неувязок между смежными листами. Тем не менее временной разрыв в создании листов Госгеолкарты-1000/3 и сохраняющиеся до настоящего времени «различные авторские концепции», не сняли вопрос о необходимости унификации базовых



Рис. 4. Руководители первых объектов по созданию Госгеолкарты-1000/3 за работой, 2008 г. (справа налево: В. Р. Вербицкий, Т. Н. Зубова, Т. Е. Салтыкова, И. В. Вербицкий)

Fig. 4. Heads at work, 2008; the first objects to create the State Geological Map at a scale of 1,000,000 (third generation) (from right to left: V. R. Verbitskiy, T. N. Zubova, T. E. Saltykova, I. V. Verbitskiy)



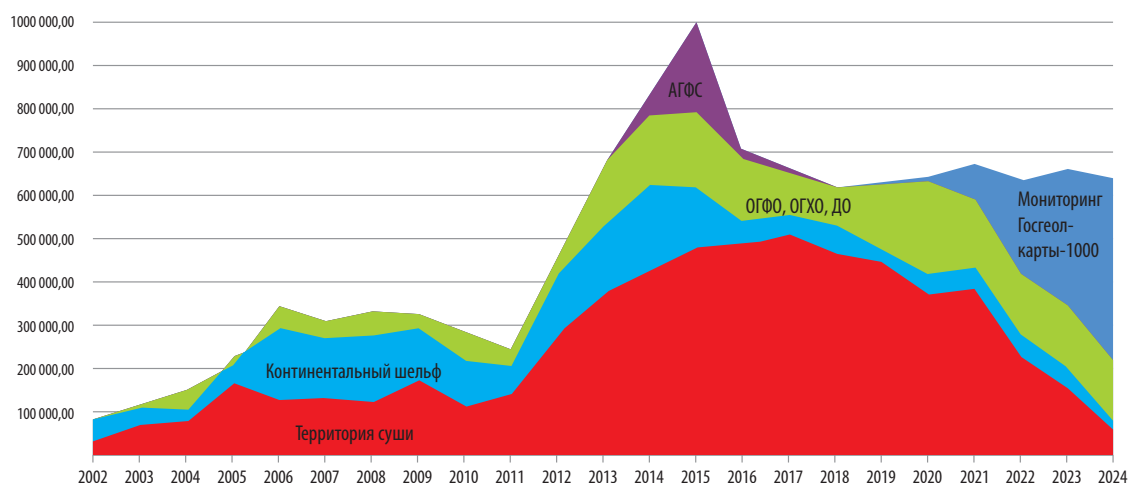


Рис. 5. Фактические расходы федерального бюджета с 2002 по 2024 год на мероприятия ГП ВИПР, направленные на реализацию Программы Госгеолкарты-1000/3

Fig. 5. Actual federal budget costs (2002–2024) for the State Program activities on reproducing and using natural resources, which implement the Program to create the State Geological Map at a scale of 1,000,000 (third generation)

геологических, тектонических и минерагенических слоев цифровой модели.

С учетом дефицита финансирования и незавершенной нормативно-методической базы часть комплектов Госгеолкарты-1000/3 была составлена без карт прогноза на нефть и газ и карт четвертичных образований, что в 2019 г. потребовало досоставления этих карт и доукомплектования ими соответствующих Госгеолкарт-1000/3 в электронном виде.

Большие претензии накопились к содержанию легенд серий листов в связи с тем, что к каждому комплекту Госгеолкарты-1000/3 подготавливались различные предложения по дополнениям

и изменениям. Предложения в формате отдельного документа согласовывались с главными редакторами серий и утверждались НРС Роснедра. При этом последняя актуализация легенд серий листов с учетом дополнений и изменений к листам завершилась в 2010 г. После 2010 г. вносимые в листы изменения и дополнения без периодической актуализации легенд серий привели к накоплению ошибок, когда более поздние дополнения стали противоречить утвержденным ранее.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГРАММЫ ГОСГЕОЛКАРТЫ-1000/3

Несмотря на проблемы, отмеченные выше, Программа Госгеолкарты-1000/3, как и два предыдущих поколения, стала крупнейшим этапом геологического изучения страны. Ее показателем может служить прирост современной геологической изученности и прогнозной информации в сравнении с материалами первых поколений, а также создание массива полистных цифровых материалов территории Российской Федерации (рис. 9), ее континентального шельфа, зоны перехода от суши к морю и бассейнов Арктики, Тихого океана, Охотского, Чёрного и Каспийского морей.

Содержание комплекта Госгеолкарты-1000/3 на примере листа R-42 — п-ов Ямал приведен на рис. 10.

Созданный за период 2002–2024 гг. массив полистных цифровых материалов по 248 номенклатурным листам размещен на сайте ФГБУ «Институт Карпинского» в составе национального геолого-картографического ресурса «Цифровой двойник недр России» (далее — НГКР). Технологии НГКР разработаны и поддерживаются Центром информационных технологий по региональной геологии и металлогении Института. НГКР доступен для пользователей через Интернет [10; 11] в двух разделах:

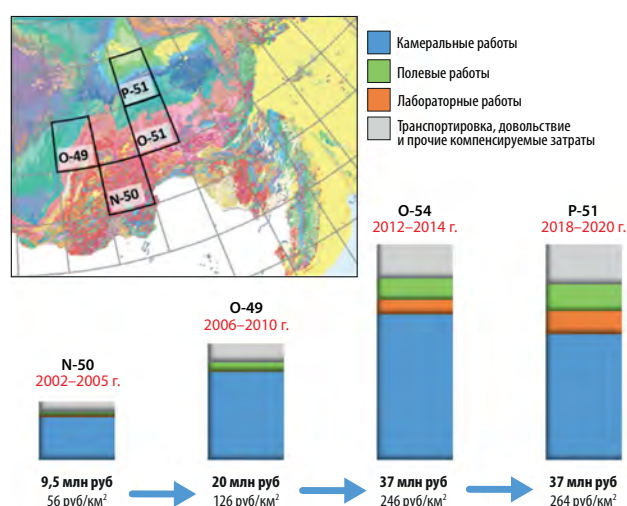


Рис. 6. Изменение структуры затрат и стоимости работ по созданию листов Госгеолкарты-1000/3 за период 2002–2020 гг.

Fig. 6. Cost structure and working cost changes pertinent to creating sheets of the State Geological Map at a scale of 1,000,000 (third generation) (2002–2020)





Рис. 7. Слева — Всероссийское совещание «Перспективы развития регионального геологического изучения недр территории Российской Федерации с привлечением собственных средств недропользователей», 2024; справа — Всероссийское совещание в рамках Петербургского международного геологического фестиваля «ГЕОФЕСТ — 2024», 2024  
 Fig. 7. On the left: All-Russian meeting "Prospects for developing regional geological exploration of the Russian Federation subsoil, with subsoil users' own funds involved", 2024; on the right: All-Russian meeting within St. Petersburg International Geological Festival "GEOFEST — 2024", 2024

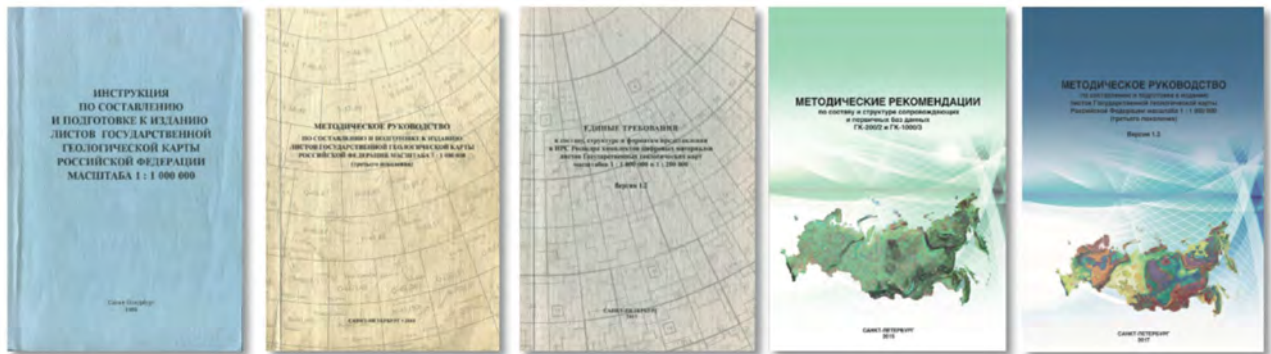


Рис. 8. Разные версии методических документов, регламентирующих создание и подготовку к изданию комплектов Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000

Источник: составлено автором И. В. Вербицким на основе [4–7]

Fig. 8. Different versions of procedural documents to create and edit the State Geological Map sets at a scale of 1 : 1,000,000

Source: adapted by the author I. V. Verbitskiy from [4–7]

- Георастры Госгеолкарт;
- Цифровой каталог Госгеолкарт.

Эти разделы НГКР обеспечивают доступ к картам и схемам геологического содержания, геофизическим, геохимическим материалам, дистанционным основам. Функционал первого ресурса позволяет формировать из георастров полистных комплектов единое полотно на крупные территории, с охватом геологических структур, произвольных географических областей, территорий субъектов Российской Федерации, особо охраняемых природных территорий и т. п. (рис. 11).

Второй ресурс позволяет получить материалы, включающие цифровые модели комплектов Госгеолкарты-1000/3 с сопровождающими и первичными базами данных, издательские варианты (представленные в формате .pdf) и объяснительные записки, которые по своему содержанию являются монографиями описания и обобщения геологического строения, закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых территории Российской Федерации (рис. 12).

Материалы комплектов, размещенные в разделах НГКР «Цифровой двойник недр России», доступны различным категориям пользователей в полиграфическом виде. Все комплекты изданы на Санкт-Петербургской картографической фабрике Института Карпинского и направлены по списку рассылки, утвержденному Роснедрами, в том числе в государственные библиотеки страны.

Цифровые материалы комплектов Госгеолкарты-1000/3 широко используются для создания и актуализации сводного информационного уровня, а также мониторинга специализированных разделов НГКР «Цифровой двойник недр России».

Так, информация по объектам полезных ископаемых, накопленная в цифровых моделях, базах данных и объяснительных записках полистных комплектов Госгеолкарты-1000/3 ложится в основу формирования раздела НГКР «Полезные ископаемые территории России», увязанного с Государственными системами учета (Государственный баланс запасов полезных ископаемых; Государственный кадастр месторождений и проявлений

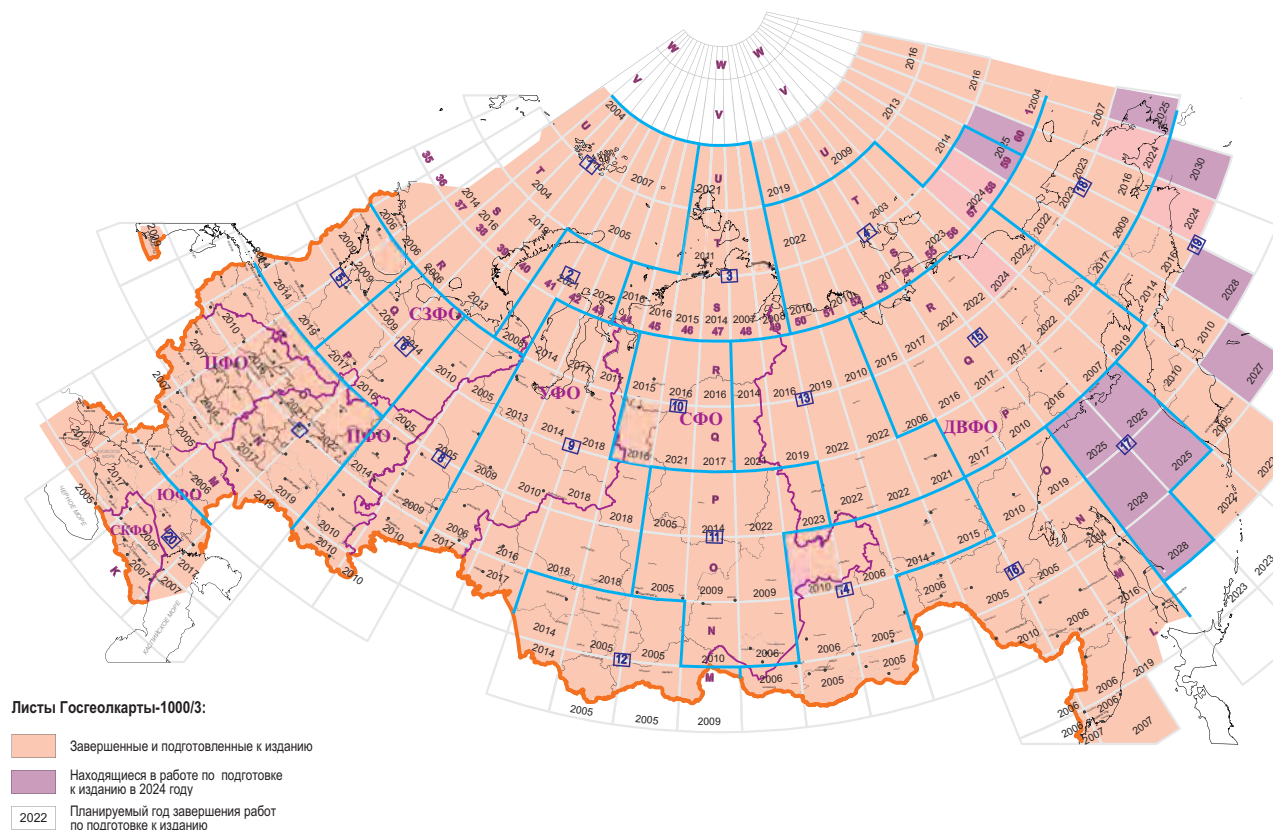


Рис. 9. Состояние изученности Государственной геологической картой масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение) территории Российской Федерации и ее континентального шельфа (по состоянию на 2024 г.)

Источник: составлено автором И. В. Вербицким по собственным данным и на основе [8]

Fig. 9. Coverage of the Russian Federation territory and its continental shelf by the State Geological Map at a scale of 1 : 1,000,000 (third generation) (as of 2024)

Source: adapted by the author I. V. Verbitskiy from his own data and [8]

полезных ископаемых; Реестр участков недр и лицензий на пользование недрами, так называемая Автоматизированная система лицензирования недр). Объекты полезных ископаемых, интегрированные из государственных систем учета, дополняются проявлениями, пунктами минерализации, шлиховыми, геофизическими ореолами, зафиксированными в комплексах Госгеолкарты-1000/3. Для каждого объекта приводятся: название, ранг, вид полезных ископаемых, освоенность, ссылка на паспорт Госкадастра, сведения о запасах и ресурсах, принадлежность к минерагеническим таксонам Госгеолкарты-1000. Централизованный ресурс «Полезные ископаемые территории России» включает информацию более чем по 114 тыс. объектов и является основой для оценки нераскрытого потенциала полезных ископаемых, планирования работ следующих стадий геологосъемочных работ (далее — ГСР) и привлечения инвестиций в геологоразведку (рис. 13).

Новые изотопно-геохимические и геохронологические данные, полученные в ходе реализации Программы, а их более 2,5 тыс., положили начало созданию и дальнейшему пополнению раздела НГКР «Геохронологический Атлас-справочник России (база данных «Геохронология»», включающего на сегодня сводку

более 7 тыс. датировок, научный и практический интерес к которым растет в связи с развитием направления изотопного картирования (рис. 14).

Описания стратотипов и типовых массивов, приведенные в объяснительных записках к комплектам, стали основой создания централизованного информационного ресурса стратотипов (8659 единиц) и петротипов (1584 единицы) территории России.

Накопленные огромные массивы цифровых данных и развитие технологий их обработки поставили новые задачи по созданию и поддержанию в мониторинговом режиме цифровых покрытий и баз данных геологического содержания как на отдельные регионы, так и на всю территорию Российской Федерации и ее континентального шельфа.

В 2009–2010 гг. Институтом разработаны Концепция полимасштабной модели Госгеолкарты-1000/3 и -200/2 и макет «Национальной геолого-картографической информационной системы» (далее — НГКИС), обеспечивающие возможность интеграции геологических карт в единую программно-технологическую среду и создание полимасштабного покрытия территории страны и прилегающих акваторий, а также возможность многопользовательского доступа и интеграции цифровых карт в международные проекты.



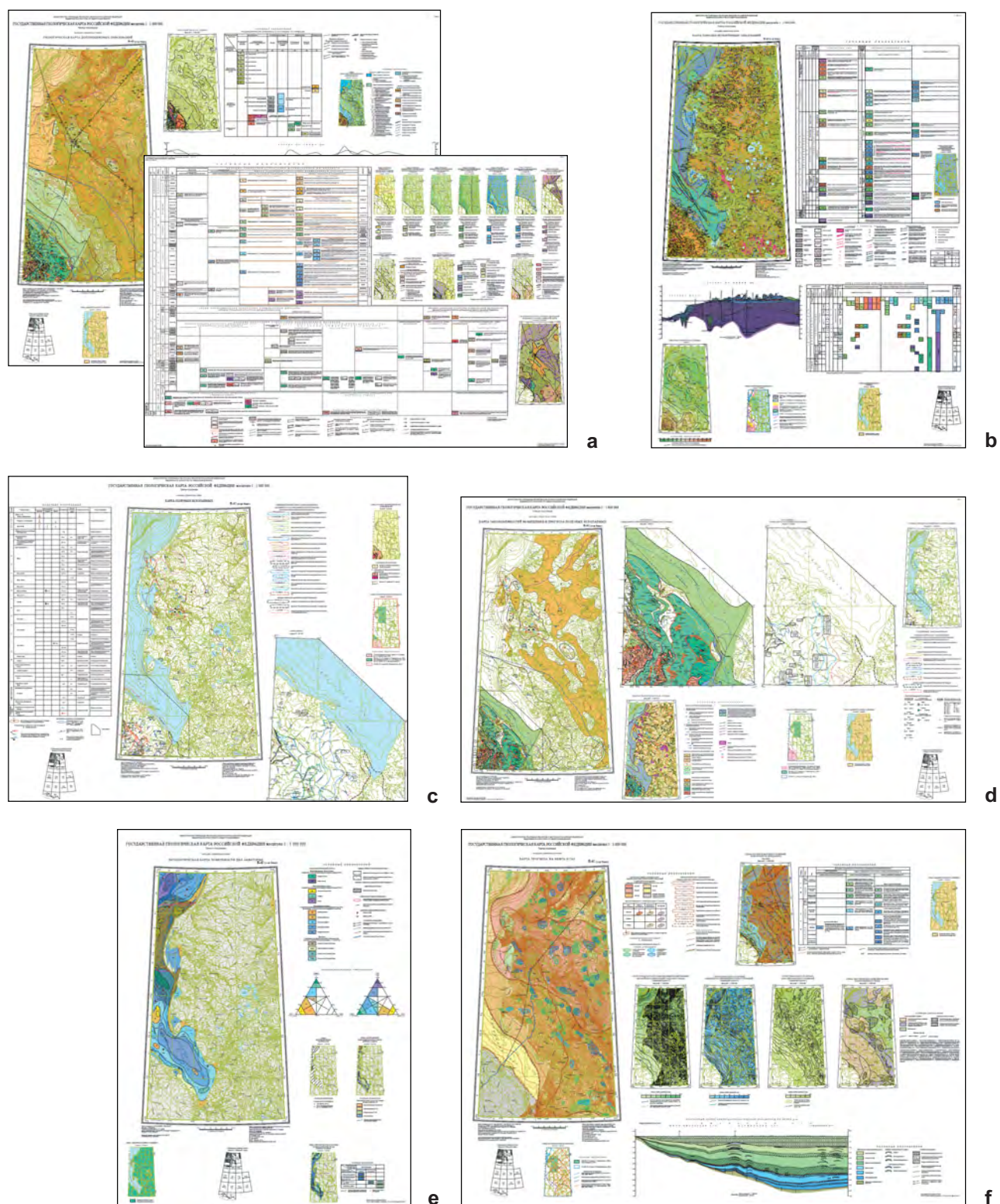


Рис. 10. Содержание комплекта Госгеолкарты-1000/3 листа R-42 — п-ов Ямал

*a* — карта дочетвертичных образований, *b* — карта четвертичных образований, *c* — карта полезных ископаемых, *d* — карта закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых, *e* — литологическая карта поверхности дна акваторий, *f* — карта прогноза на нефть и газ  
Источник: [9]

Fig. 10. Content of the State Geological Map set at a scale of 1 : 1,000,000 (third generation), sheet R-42 — Yamal Peninsula

*a* — Pre-Quaternary Formations map, *b* — Quaternary Formations map, *c* — Mineral resources map, *d* — Map of mineral resources distribution patterns and prediction, *e* — lithological map of the water areas bottom surface, *f* — oil and gas predictive map

Source: [9]



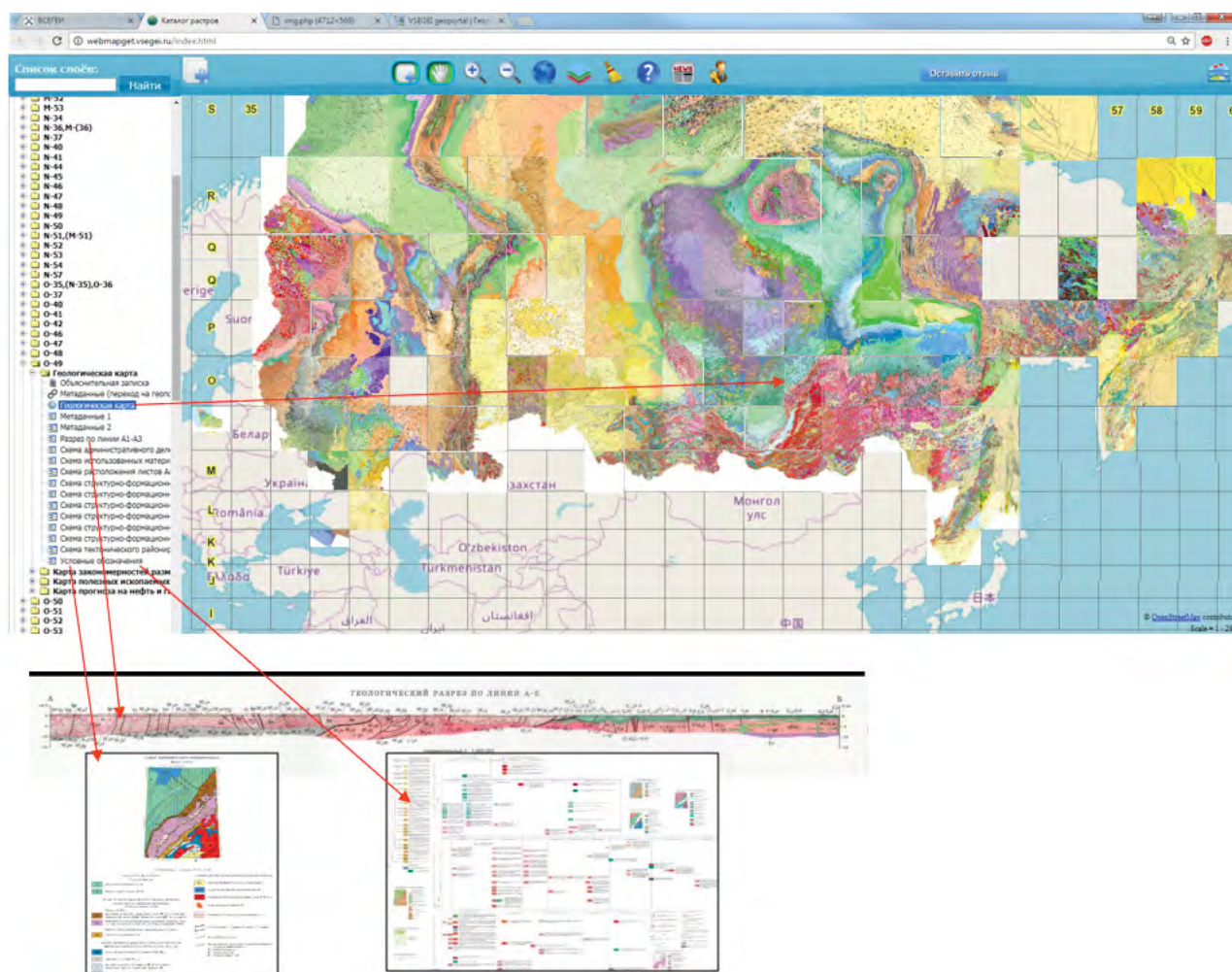


Рис. 11. Раздел НГКР «Георастры» (БД Госгеолкарт)

Источник: составлено автором И. В. Вербицким на основе URL: <https://webmapget.karpinskyinstitute.ru/>

Fig. 11. Section of the national geological and cartographic resource “Geobitmaps” (Database of state geological maps)

Source: adapted by the author I. V. Verbitskiy from the URL: <https://webmapget.karpinskyinstitute.ru>

В период 2010–2019 гг. на основе Госгеолкарт созданы фрагменты бесшовных покрытий (геологическая, полезных ископаемых) на крупные регионы страны и прилегающих акваторий (Европейская часть России, Урал, Западная Сибирь, Алтае-Саянская и Алдано-Забайкальская области, юг дальнего Востока, Прикаспий, Чукотско-Корякско-Камчатский регион, Арктика), которые были загружены в макет НГКИС масштаба 1 : 1 000 000 и использованы для актуализации геологической карты масштаба 1 : 2 500 000 и интеграции ее в международные проекты.

Однако традиционно именно материалы Госгеолкарты-1000/3 являются основой обновления базовых цифровых карт сводного и обзорного уровней территории России и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000, к которым относятся (рис. 15):

- геологическая карта;
- тектоническая карта;
- карта четвертичных образований;
- прогнозно-минерагеническая карта;
- карта закономерностей размещения и прогноза на нефть и газ.

В последние годы особое значение приобрело расширение их информационной емкости за счет создания дополнительных тематических слоев.

Цифровая геологическая карта России и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000 существенно обновлена (2012–2023 гг.) в Арктической зоне по материалам Госгеолкарты-1000, а также с учетом новых тематических слоев раннедокембрийских и позднедокембрийских образований, что с использованием Web-технологии позволило осуществлять увязку и интеграцию подразделений, выходящих на эрозионный срез и увязать погребенные поверхности.

Цифровая тектоническая карта территории Российской Федерации и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000 составлена впервые (2021–2023 гг.) на основе обобщения и увязки авторских тектонических схем того же масштаба, входящих в комплекты Госгеолкарты-1000, и на основе цифровой Геологической карты России и прилегающих акваторий.

Разработана единая легенда на геодинамической основе. Карта составлена с использованием



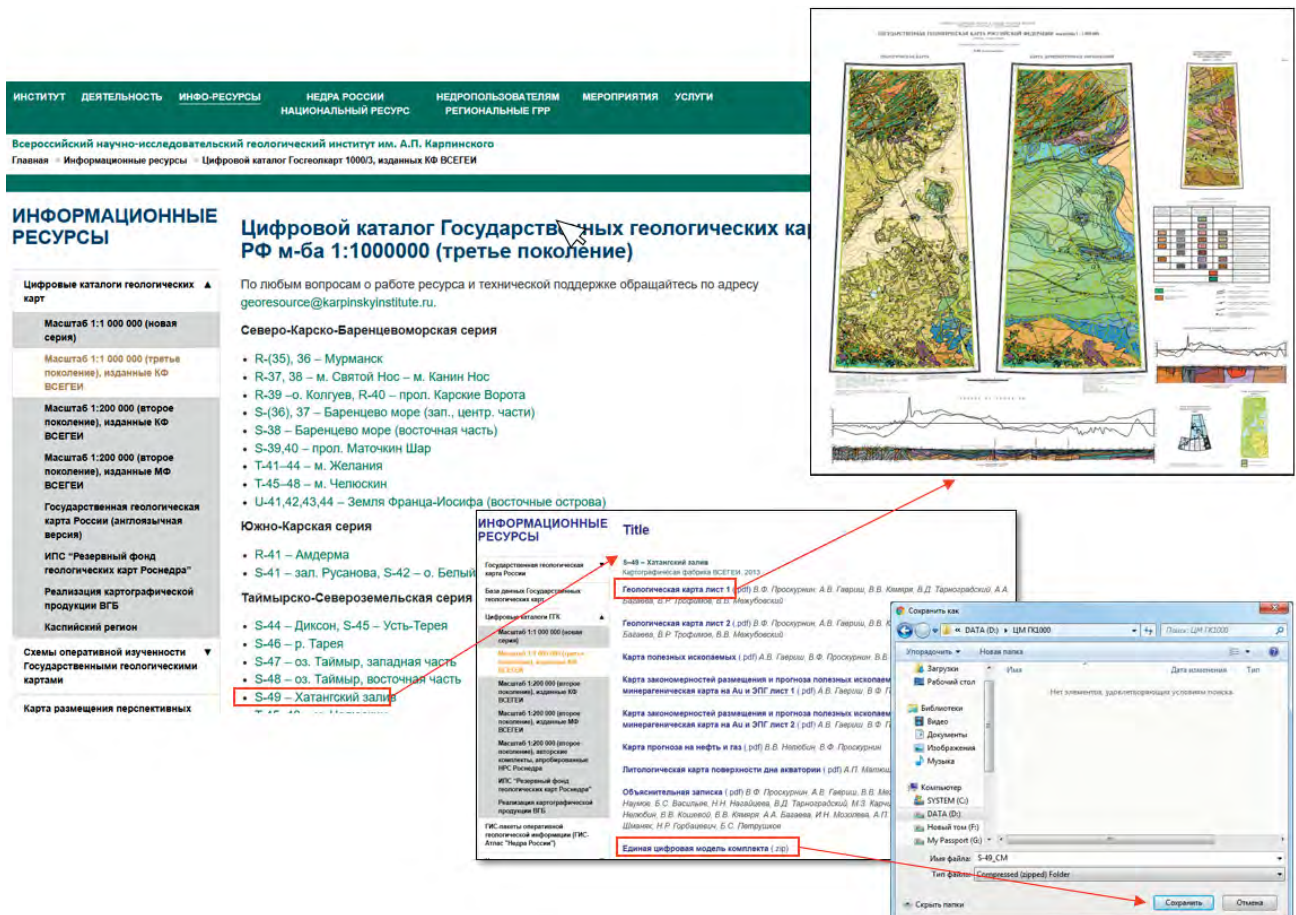


Рис. 12. Раздел НГКР «Цифровой каталог Госгеолкарт»

Источник: составлено автором И. В. Вербицким на основе URL: [https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/pub\\_ggk1000-3/index.php](https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/index.php)

Fig. 12. Section of the national geological and cartographic resource “Digital catalog of state geological maps”

Source: adapted by the author I. V. Verbitskiy from the URL: [https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/pub\\_ggk1000-3/index.php](https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/index.php)

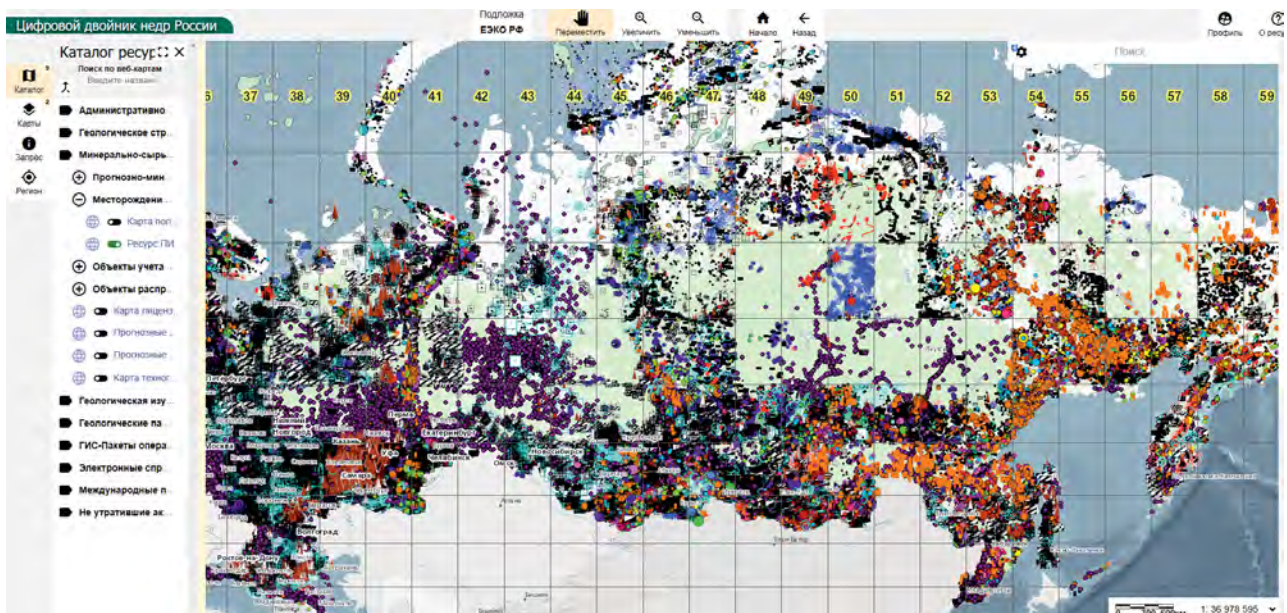


Рис. 13. Раздел НГКР «Полезные ископаемые территории России»

Источник: URL: <https://wega.karpinskyinstitute.ru/site>

Fig. 13. Section of the national geological and cartographic resource “Russian Federation mineral resources”

Source: URL: <https://wega.karpinskyinstitute.ru/site>



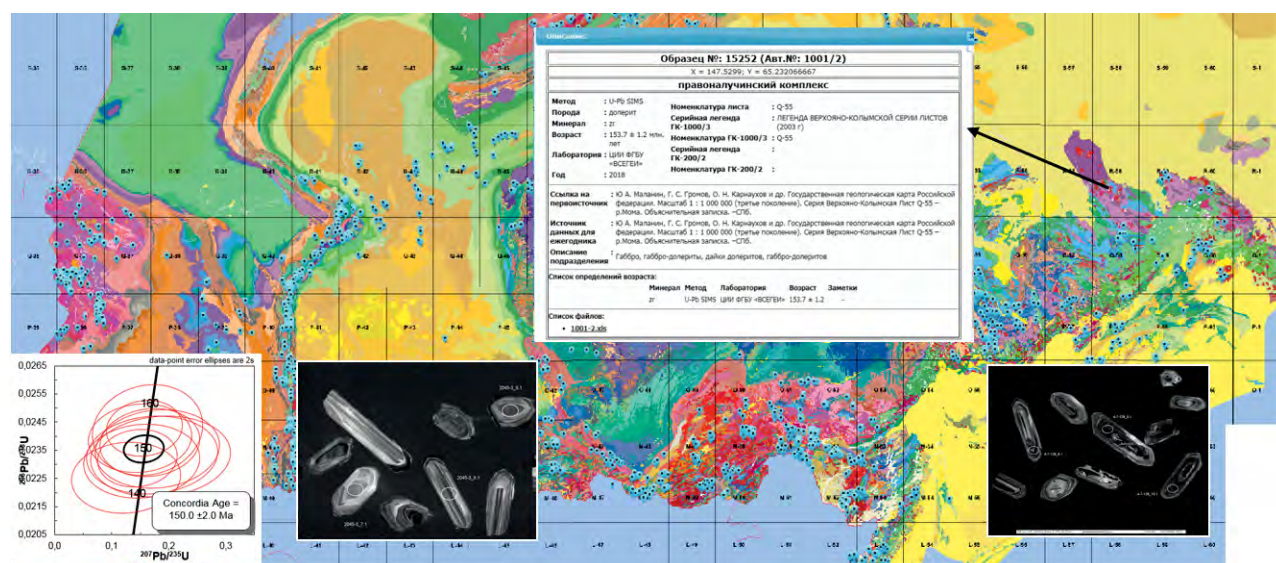


Рис. 14. Раздел НГКР «Геохронологический Атлас-справочник России (база данных "Геохронология")»

Источник: URL: <https://geochron-atlas.karpinskyinstitute.ru/>

Fig. 14. Section of the national geological and cartographic resource "Geochronological Atlas of Russia (database "Geochronology")"

Source: URL: <https://geochron-atlas.karpinskyinstitute.ru/>

Web-технологии и сопровождается дополнительными тематическими слоями (схема тектонического районирования масштаба 1 : 5 000 000, тектоническая карта погребенных фундаментов платформ масштаба 1 : 2 500 000, схема тектонического районирования перекрытых фундаментов платформ и окраинных морей масштаба 1 : 5 000 000).

Цифровая карта четвертичных образований территории Российской Федерации и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000 существенно обновлена (2012–2023 гг.) в Арктической зоне по материалам Госгеолкарты-1000/3 и актуализированной батиметрической основы в пределах Северного Ледовитого океана. Дополнительно построены тематические слои: уклонов для глубоководных областей хребтов Ломоносова и Гаккеля, морских трансгрессий и лессово-почвенной формации.

Цифровая прогнозно-минералогическая карта территории Российской Федерации и ее континентального шельфа масштаба 1 : 2 500 000 — одно из важнейших достижений обобщения материалов Госгеолкарты-1000/3 и разработки системы минералогического районирования всей страны с дискретной справочной информацией о раскрытом и прогнозируемом минерально-сырьевом потенциале. Дополнительно построена (2018–2024 гг.) серия специализированных тематических слоев: карты закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых на медь, золото, полиметаллы, алмазы и 14 стратегических, остродефицитных и высоколиквидных видов полезных ископаемых.

Цифровая карта закономерностей размещения и прогноза на нефть и газ территории Российской Федерации и прилегающих акваторий масштаба

1 : 2 500 000 составлена впервые (2021–2023 гг.) и представляет собой сводку материалов Госгеолкарты-1000/3. Карта содержит несколько тематических слоев, характеризующих распространение толщ нефтегазоносных комплексов по основным нефтегазоносным провинциям, с учетом межсерийной корреляции стратиграфических объемов нефтегазоносных комплексов, увязанных с общей стратиграфической шкалой России (2019 г.) и региональными стратиграфическими шкалами. При составлении карты учтены результаты районирования и количественной оценки ресурсов нефти и газа ФГБУ «ВНИГНИ».

Отдельным результатом реализации Программы является подготовка рекомендаций по постановке среднemasштабных и крупномасштабных ГСР и поисковых работ, оформленных в виде паспортов учета перспективных объектов (рис. 16). С 2005 по 2024 гг. рекомендовано:

— 520 листов для постановки среднemasштабных ГСР с целью формирования поискового задела на различные виды полезных ископаемых. Более 20 % рекомендованных площадей учтено при формировании планов на ближайшую и среднесрочную перспективу;

— 309 объектов с оцененными прогнозными ресурсами категории  $P_3$  для постановки крупномасштабных ГСР и поисковых работ. Эти объекты являются основой для реализации «greenfield» проектов как крупных компаний недропользователей, так и юниоров.

Все паспорта включены в централизованный информационный раздел НГКР «Система учета объектов с прогнозными ресурсами категории  $P_3$ », который широко востребован различными категориями пользователей недр.



## МОНИТОРИНГ ГОСГЕОЛКАРТЫ-1000

По итогам реализации Программы Госгеолкарты-1000 третьего поколения (1995–2025 гг.) будет создан геолого-картографический ресурс полистных комплектов Госгеолкарты-1000 третьего поколения по всей территории суши России, дну акваторий внутренних бассейнов, континентальному шельфу и островам в пределах экономической зоны Российской Федерации (всего 248 номенклатурных листов, включая 2 номенклатурных листа по новым территориям и Крыму).

Стремительные темпы научного и технологического прогресса делают нерациональным дальнейшее обновление Государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 в виде отдельных комплектов «четвертого» поколения и обуславливают необходимость перехода к модели создания глобальных геолого-картографических информационных ресурсов.

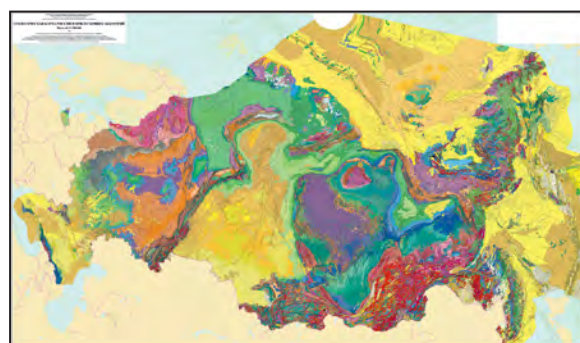
Уже с 2020 г., по заданию Роснедр, Институт Карпинского приступил к цифровой трансформации ресурса полистных Госгеолкарт-1000/3 и бесшовных

фрагментов, перейдя к мониторингу Государственной геологической карты и формированию Единой геолого-картографической модели территории Российской Федерации и ее континентального шельфа масштаба 1 : 1 000 000 (далее — ЕГКМ) — как системы непрерывного поиска, получения, сбора, накопления и анализа информации о геологическом строении и минерагении территории страны (рис. 17). По состоянию на 2024 г. в мониторинг введено 117 номенклатурных листов Госгеолкарты-1000.

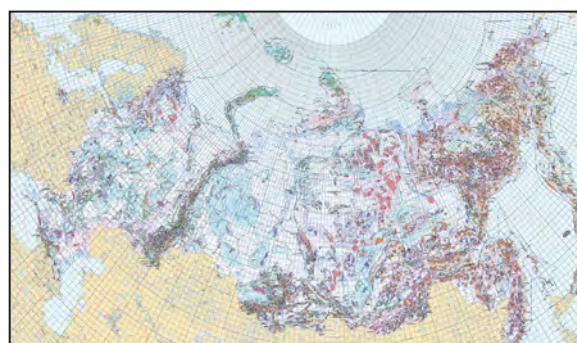
Реализация Программы мониторинга Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа (2020–2035 гг.) позволит:

— сформировать структурированный массив цифровой геолого-картографической информации Госгеолкарт-1000/3, включающий:

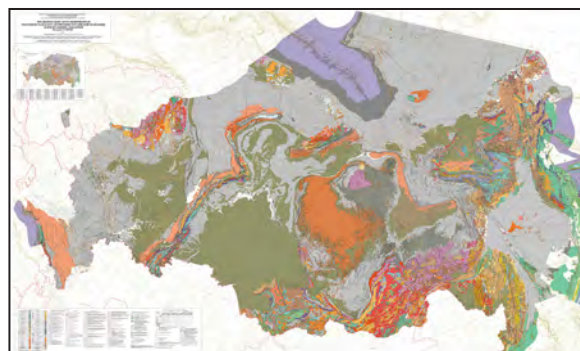
- полистные комплекты Госгеолкарты-1000/3, увязанные по группам листов в пределах серийных легенд, сопровождаемые актуализированными объяснительными записками;
- первичную и сопровождающую информацию, размещенную в централизованных ресурсах;



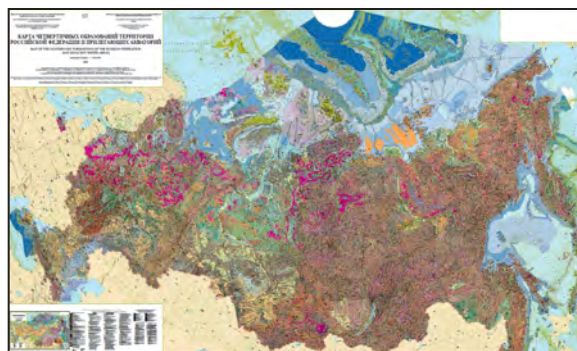
a



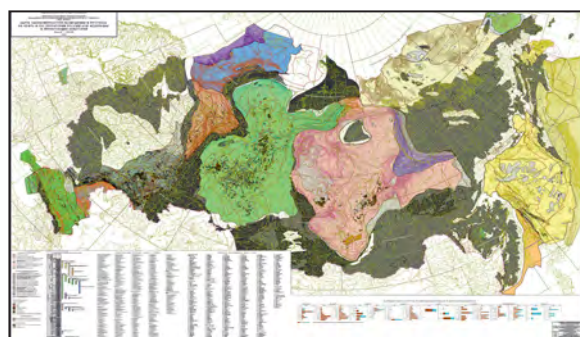
b



c



d



e

**Рис. 15. Карты сводного и обзорного уровней территории России и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000**

*a* — геологическая карта, *b* — прогнозно-минерагеническая карта, *c* — тектоническая карта, *d* — карта четвертичных образований, *e* — карта закономерностей размещения и прогноза на нефть и газ

Источник: URL: <https://geochron-atlas.karpinskyinstitute.ru/>

**Fig. 15. Integrated and review maps of the Russian territory and adjacent water areas at a scale of 1 : 2,500,000**

*a* — geological map, *b* — predictive metallogenic map, *c* — tectonic map, *d* — Quaternary Formations map, *e* — map of location patterns and prediction for oil and gas

Source: URL: <https://geochron-atlas.karpinskyinstitute.ru/>

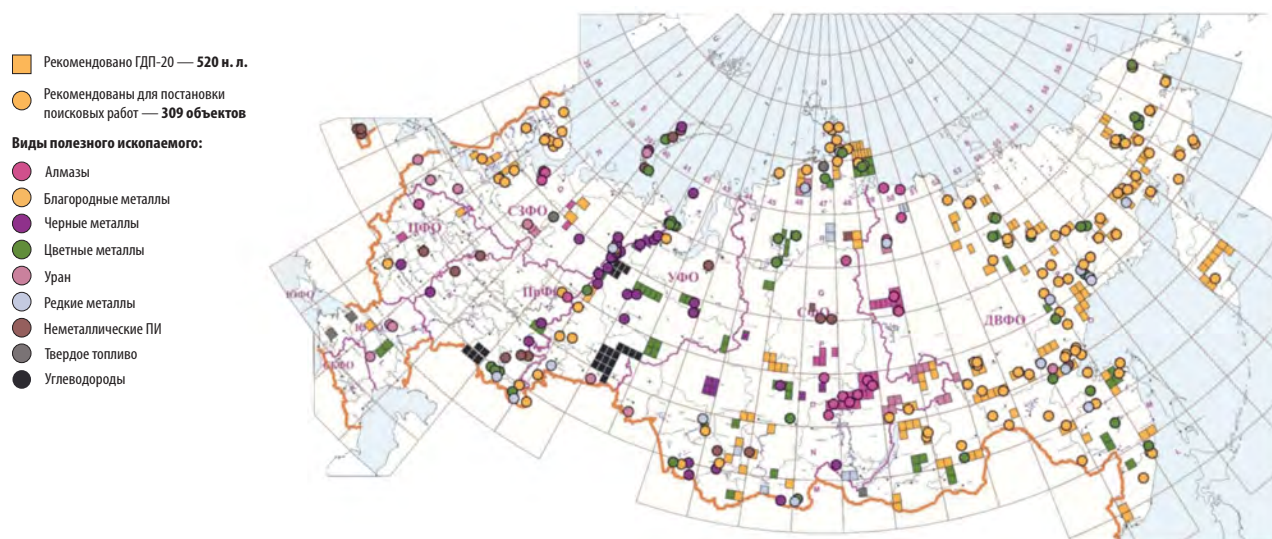


Рис. 16. Схема размещения объектов, рекомендованных к постановке среднemasштабных и крупномасштабных геологосъемочных и поисковых работ

Fig. 16. Location diagram, with objects recommended for medium-scale and large-scale geological survey and exploration work

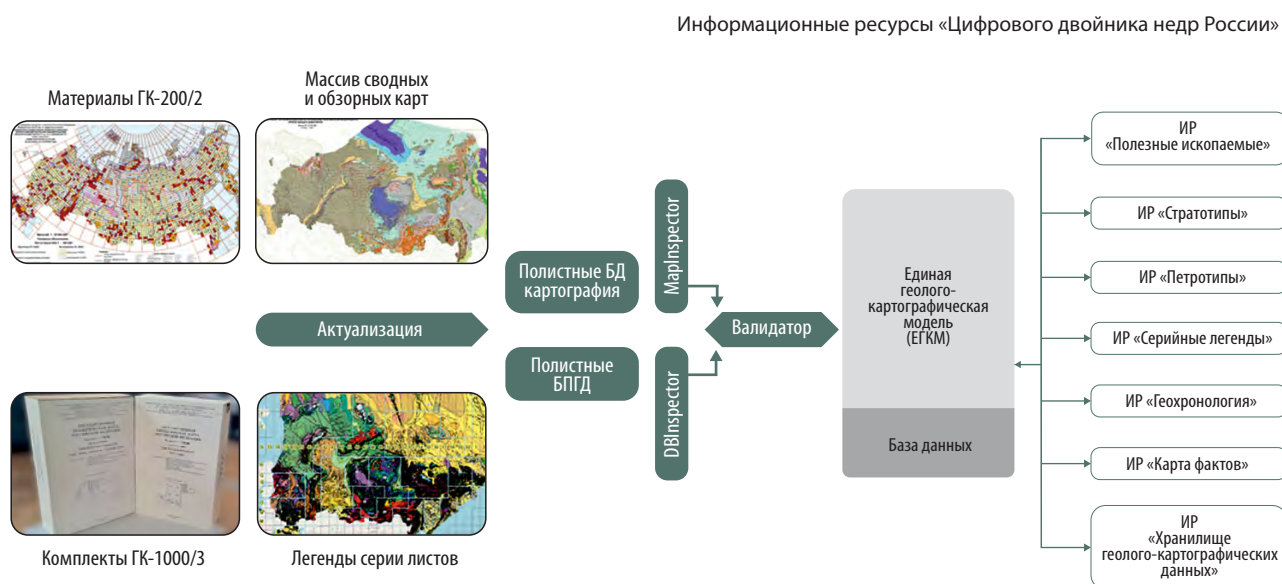


Рис. 17. Схема формирования Единой геолого-картографической модели территории Российской Федерации и ее континентального шельфа масштаба 1 : 1 000 000

Fig. 17. Formation diagram of the Integrated geological-cartographic model of the Russian Federation territory and its continental shelf at a scale of 1 : 1,000,000

- постоянно обновляемые взаимоувязанные геологические покрытия масштабов 1 : 2 500 000–5 000 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа;
- осуществлять мониторинг информации о геологическом строении территории Российской Федерации по результатам региональных геолого-геофи-

- зических и геологосъемочных работ, геохимических и других общегеологических работ, а также обеспечивать открытый доступ к геологической информации и базам данных через сеть Интернет;
- обеспечить пополнение фонда перспективных площадей для постановки средне- и крупномасштабных региональных геологосъемочных и поисковых работ.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время мелкомасштабное геологическое картографирование преобразуется в систему постоянно обновляемой Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000, увязанной со структурированным массивом геологической информации различных масштабных уровней (1 : 2 500 000, 1 : 200 000, 1 : 50 000) и информационными ресурсами — «Стратотипы», «Петротипы», «Полезные ископаемые», «Геохронологический Атлас-справочник», «Серийные легенды» в рамках Единой геолого-картографической модели территории России и ее континентального шельфа масштаба 1 : 1 000 000.

Основные задачи, методы, последовательность и схема проведения работ, ожидаемые результаты, индикативные показатели определяются Программой мониторинга Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000, которая вошла в перечень мероприятий «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года», утвержденной распоряжением Правительства от 11.07.2024, № 1838-р.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Три поколения государственного геологического картографирования масштаба 1 : 1 000 000 — ядро системного изучения геологии территории и континентального шельфа России. Мониторинг Госгеолкарты-1000/3 — концепция картографирования «четвертого поколения» / Т. Н. Зубова [и др.] // Научно-практическая конференция «Геология. Возрождение легенды», посвященная 175-летию со дня рождения академика А. П. Карпинского 17–18 ноября 2021 года, СПб. : ВСЕГЕИ, 2021. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/conf/summary/karpinsky21/presentations/> (дата обращения: 12.12.2024).
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000: история создания, итоги и задачи работ / О. В. Петров [и др.]. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. 75 с.
3. Материалы Международного совещание «Состояние и перспективы развития работ по созданию государственных геологических карт Российской Федерации». 20–22 апреля 2011 г. СПб. : Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского. URL: [https://karpinskyinstitute.ru/ru/conf/summary/index.php?ELEMENT\\_ID=49571](https://karpinskyinstitute.ru/ru/conf/summary/index.php?ELEMENT_ID=49571) (дата обращения: 12.12.2024).
4. Инструкция по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). СПб. : ВСЕГЕИ, 1999.
5. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. СПб. : ВСЕГЕИ, 2010.
6. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. СПб. : ВСЕГЕИ, 2017.
7. Методические рекомендации по составу и структуре сопровождающих и первичных баз данных ГК-200/2 и ГК-1000/3. СПб. : ВСЕГЕИ, 2015.
8. Национальный геолого-картографический ресурс «Цифровой двойник недр России». СПб. : Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/gisatlas/> (дата обращения: 12.12.2024).

9. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист R-42 — п-ов Ямал. Объяснительная записка / М. А. Шишкин [и др.]; гл. науч. ред. А. П. Казак; отв. ред.: А. М. Шишкин, Я. Э. Файбусович, С. И. Шкарубо. СПб. : Картфабрика ВСЕГЕИ, 2015.

10. «ГИС-Атлас Недр России» — крупнейший геолого-картографический ресурс по территории России / В. В. Снежко [и др.] // Научно-практическая конференция «Геология. Возрождение легенды», посвященная 175-летию со дня рождения академика А. П. Карпинского 17–18 ноября 2021 года. СПб. : ВСЕГЕИ. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/conf/summary/karpinsky21/presentations/> (дата обращения: 12.12.2024).

11. Национальный геолого-картографический ресурс «Цифровой двойник недр России». СПб. : Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/gisatlas/> (дата обращения: 12.12.2024).

## REFERENCES

1. Three generations of state geological mapping at a scale of 1 : 1,000,000 are the core of a systematic study of the geology of the territory and continental shelf of Russia. Monitoring of Gosgeolcarta-1000/3 — the concept of “fourth generation” mapping: Scientific and practical conference “Geology / T. N. Zubova [et al.]. Revival of the Legend”, dedicated to the 175th anniversary of the birth of Academician A. P. Karpinsky, November 17–18, 2021. St. Petersburg: VSEGEI. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/conf/summary/karpinsky21/presentations/> (accessed 12.12.2024). (In Russ).
2. State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 1,000,000: history of creation, results and objectives of the work / O. V. Petrov [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Publishing House; 2007. 75 p. (In Russ).
3. Proceedings of the International Conference “Status and Prospects of Development of Work on the Creation of State Geological Maps of the Russian Federation”. April 20–22, 2011. St. Petersburg: VSEGEI. URL: [https://karpinskyinstitute.ru/ru/conf/summary/index.php?ELEMENT\\_ID=49571](https://karpinskyinstitute.ru/ru/conf/summary/index.php?ELEMENT_ID=49571) (accessed 12.12.2024). (In Russ).
4. Instructions for Compilation and Preparation for Publication of Sheets of the State Geological Map of the Russian Federation at a Scale of 1 : 1,000,000 (Third Generation). St. Petersburg: VSEGEI; 1999. (In Russ).
5. Methodological guidelines for compiling and preparing for publication sheets of the state geological map of the Russian Federation at a scale of 1 : 1,000,000. St. Petersburg: VSEGEI; 2010. (In Russ).
6. Methodological guidelines for compiling and preparing for publication sheets of the state geological map of the Russian Federation at a scale of 1 : 1,000,000. St. Petersburg: VSEGEI; 2017. (In Russ).
7. Methodological recommendations on the composition and structure of accompanying and primary databases GK-200/2 and GK-1000/3. St. Petersburg: VSEGEI; 2015. (In Russ).
8. National geological and cartographic resource “Digital twin of the subsoil of Russia”. St. Petersburg: The All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/gisatlas/> (accessed 12.12.2024). (In Russ).
9. State geological map of the Russian Federation: scale 1 : 1 000 000 (third generation). West Siberian Series. L. R-42: Yamal Peninsula: explanatory note / M. A. Shishkin [et al.]; chief scientific ed. A. P. Kazak; responsible eds: A. M. Shishkin, Ya. E. Faibusovich, S. I. Shkarubo. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2015. (In Russ).
10. “GIS-Atlas of the Subsoil of Russia” is the largest geological and cartographic resource for the territory of Russia / V. V. Snezhko [et al.]. Scientific and practical conference

"Geology. Revival of the Legend", dedicated to the 175<sup>th</sup> anniversary of the birth of Academician A. P. Karpinsky November 17–18, 2021. St. Petersburg: VSEGEI. URL: <https://karpinsky-institute.ru/ru/conf/summary/karpinsky21/presentations/> (accessed 12.12.2024). (In Russ).

11. National geological and cartographic resource "Digital twin of the subsoil of Russia". St. Petersburg: The All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/gisatlas/> (accessed 12.12.2024). (In Russ).

---

## Борис Игоревич Королев

Кандидат геолого-минералогических наук,  
начальник управления

Федеральное агентство по недропользованию, Москва, Россия

SPIN-код РИНЦ 5719-6400  
[bkorolev@rosnedra.gov.ru](mailto:bkorolev@rosnedra.gov.ru)

## Boris I. Korolev

PhD (Geology and Mineralogy),  
Head of the Management

Federal Subsoil Resources Management Agency, Moscow, Russia

RSCI SPIN-code 5719-6400  
[bkorolev@rosnedra.gov.ru](mailto:bkorolev@rosnedra.gov.ru)

## Павел Владимирович Химченко

Кандидат технических наук,  
генеральный директор

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код РИНЦ 5717-8897  
[Pavel\\_Khimchenko@karpinskyinstitute.ru](mailto:Pavel_Khimchenko@karpinskyinstitute.ru)

## Pavel V. Khimchenko

PhD (Engineering),  
Director General

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia

RSCI SPIN-code 5717-8897  
[Pavel\\_Khimchenko@karpinskyinstitute.ru](mailto:Pavel_Khimchenko@karpinskyinstitute.ru)

## Зубова Татьяна Николаевна

Заместитель генерального директора  
по геологоразведочным работам

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0004-2188-4017>  
SPIN-код РИНЦ 7260-4280  
[Tatiana\\_Zubova@karpinskyinstitute.ru](mailto:Tatiana_Zubova@karpinskyinstitute.ru)

## Tatiana N. Zubova

Deputy Director General  
in geological exploration

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0004-2188-4017>  
RSCI SPIN-code 7260-4280  
[Tatiana\\_Zubova@karpinskyinstitute.ru](mailto:Tatiana_Zubova@karpinskyinstitute.ru)

## Иван Владимирович Вербицкий

Начальник отдела региональных геологоразведочных работ,  
Центр государственного геологического картографирования

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0009-9306-8816>  
[Ivan\\_Verbitsky@karpinskyinstitute.ru](mailto:Ivan_Verbitsky@karpinskyinstitute.ru)

## Ivan V. Verbitskiy

Head, Department of Regional Geological Exploration,  
Centre of the State Geological Mapping

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0009-9306-8816>  
[Ivan\\_Verbitsky@karpinskyinstitute.ru](mailto:Ivan_Verbitsky@karpinskyinstitute.ru)

---

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 07.11.2024  
Одобрена после рецензирования 12.12.2024  
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 07.11.2024  
Approved after reviewing 12.12.2024  
Accepted for publication 28.12.2024



Научная статья

УДК 550.8.013:528(470+26)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_23-35

**Единая геолого-картографическая модель  
территории Российской Федерации  
и ее континентального шельфа****В. В. Снежко<sup>✉</sup>, П. В. Химченко, М. А. Ткаченко,  
О. Н. Снежко, Е. А. Коваленко**

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт  
им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,  
[viktor\\_snezhko@karpinskyinstitute.ru](mailto:viktor_snezhko@karpinskyinstitute.ru)<sup>✉</sup>

**Аннотация.** В статье представлены результаты первого этапа разработки Единой геолого-картографической модели, предназначенной для технологического обеспечения мониторинга государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа. Модель интегрирует картографические материалы, серийные легенды и объяснительные записки, обеспечивая создание бесшовного геологического покрытия территории страны. В основу разработки Единой геолого-картографической модели положены многоуровневая организация данных, межсерийная корреляция и возможность формализации геологических описаний с использованием иерархических словарей. Разработанная технология включает базы данных структурированных массивов геологической информации, программные модули для их загрузки, анализа и отображения. Важным результатом является интеграция цифровых геологических ресурсов и возможность автоматизированного мониторинга карт в едином пользовательском интерфейсе. Модель данных обеспечивает возможность формирования геологических карт разных масштабных уровней и поддерживает преемственность данных, исключая противоречия и дублирование. Проект призван решить задачи по унификации и актуализации геологической информации с учетом международных стандартов и технологического суверенитета. В перспективе планируется развитие системы для полимасштабного анализа, выделения перспективных участков недр, автоматизированной генерализации карт. Промышленная технология мониторинга комплектов государственных геологических карт в рамках Единой геолого-картографической модели общегосударственного охвата в отечественной и мировой практике разработана впервые. На сегодняшний день в Единую геолого-картографическую модель загружены и переведены в режим мониторинга 19 комплектов Госгеолкарты-1000/3, включающие 16 типов карт и схем, более 3,5 млн геологических объектов и 110 000 объектов полезных ископаемых. Дальнейшее развитие технологии предполагается с учетом накопленного опыта эксплуатации и новых задач, возникающих в процессе мониторинга.

**Ключевые слова:** Единая геолого-картографическая модель, государственные геологические карты, цифровая геологическая информация, серийные легенды, геологические объекты, мониторинг государственных геологических карт, полимасштабная модель, технологический суверенитет

**Для цитирования:** Единая геолого-картографическая модель территории Российской Федерации и ее континентального шельфа / В. В. Снежко [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 23–35. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_23-35](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_23-35)

Original article

UDC 550.8.013:528(470+26)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_23-35



© В. В. Снежко, П. В. Химченко,  
М. А. Ткаченко, О. Н. Снежко,  
Е. А. Коваленко, 2024

**Unified geological-cartographic model  
of the Russian Federation  
and its continental shelf****V. V. Snezhko<sup>✉</sup>, P. V. Khimchenko, M. A. Tkachenko,  
O. N. Snezhko, E. A. Kovalenko**

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia, [viktor\\_snezhko@karpinskyinstitute.ru](mailto:viktor_snezhko@karpinskyinstitute.ru)<sup>✉</sup>

**Keywords:** *Unified geological-cartographic model, State Geological Maps, digital geological data, serial legends, geological objects, State Geological Map monitoring, multiscale model, technological sovereignty*

**For citation:** Unified geological-cartographic model of the Russian Federation and its continental shelf / V. V. Snezhko [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024; 31 (4): 23–35. [https://doi.org/10.52349/0869-78922024\\_100\\_23-35](https://doi.org/10.52349/0869-78922024_100_23-35)

**Abstract.** The paper outlines the first stage results of developing the Unified geological-cartographic model to technologically support State Geological Map (scale 1 : 1,000,000) monitoring of the Russian Federation territory and its continental shelf. The model integrates cartographic documents, serial legends, and explanatory notes, which contribute to the seamless coverage of the country's territory. The multi-level data design, interserial correlation, and geological description formalization with hierarchical directory determine the Unified geological-cartographic model development. The technology includes structured arrays of digital geological information databases, plug-ins to download, analyze, and display them. Integration of digital geological resources and computer-assisted map monitoring in a unified user interface is outstanding. The data model allows forming multiscale-level geological maps and supports data succession, excluding conflicts and duplications. The project contributes to standardizing and updating geological information, with international standards and technological sovereignty considered. It is projected to develop the system for multiscale analysis, outlining prospective subsoil areas, computer-assisted map generalization. Domestically and globally, the novel industrial technology to monitor State Geological Map sets therefore corresponds to the nation-wide Unified geological-cartographic model. The model currently has 19 uploaded State Geological Map sets (scale 1 : 1,000,000, third generation) to monitor, which include 16 map types and diagrams, over 3.5 bn geological objects, and 110,000 mineral resource objects. The vast operating experience and new tasks upon monitoring facilitate further technology development.

## ВВЕДЕНИЕ

Государственное геологическое картографирование — это основной системообразующий метод и приоритетное направление региональных геологических исследований, которое формирует массив фундаментальной геологической информации, обеспечивающей развитие геологической науки, общих знаний о геологическом строении и минералогическом потенциале территории Российской Федерации. Важнейшими характеристиками, определяющими вот уже более 100 лет безусловную эффективность работ геологической службы России, в том числе являются системность и высокая степень унификации геологических знаний, тщательный контроль выходной геологической продукции. Использование цифровых технологий, очевидно расширяет возможности государственного геологического картографирования, открывая широкие перспективы для увеличения информационной насыщенности карт, возможности их анализа, создания бесшовных покрытий.

С момента внедрения геоинформационных систем (далее — ГИС) в геологическую картографию в разных странах стали предприниматься попытки разработки универсальной модели, позволяющей интегрировать в рамках единой системы наборы геологических карт по крупным территориальным фрагментам.

Первой значимой попыткой реализации такой системы стала Северо-Американская модель геологических данных (NADM). Началом разработки можно считать 1996 г., когда по соглашению между Ассоциацией американских государственных геологов (AASG), Федеральной геологической службой США (USGS) и геологической службой Канады (GSC) международная группа приступила к разработке Национальной Базы Данных геологических карт, результатом которой и явилось создание NADM 4.3 [1].

Несмотря на очевидный прорыв и массу, несомненно, полезных наработок, версия NADM 4.3 обладала достаточно серьезными недостатками, которые фактически предопределили неудачу при попытках ее внедрения как универсального решения. Главной проблемой NADM 4.3 стало то, что процесс разработки не включал создания «Концептуальной модели». Такой подход не обеспечивает возможности изначального учета всех потенциальных вариантов реализации «Логической модели» базы данных (далее — БД). Именно поэтому при использовании NADM 4.3 как для территорий с различным геологическим строением (Аризона, Канада, Айдахо), так и для различных масштабов картографирования возникали ситуации, в которых требовалось дополнять (редактировать) логическую структуру БД. Поскольку не было объединяющего смыслового начала (концепции), эти изменения впоследствии оказались несопоставимы. Кроме того, NADM 4.3 имела еще целый ряд недостатков, в том числе не предусматривала унифицированной словарной базы, что исключило возможность согласования геологической информации для различных территориальных фрагментов; разрабатывалась как реляционная структура без поддержки объектной модели, что значительно ограничивало ее применение в процессе внедрения.

Поэтому в 2004 г. Управляющим комитетом Северо-Американской модели данных, специально созданным для модернизации NADM 4.3 с целью обеспечения совместного использования геологической информации независимо от ее логической и физической реализации, была разработана NADM-C1 [2], содержащая Концептуальную модель и Рекомендации по стандартизации геологических данных [3–6], включающие следующие компоненты:

— стандартизированный научный язык, предназначенный для описания, классификации и интерпретации геологических материалов и структур;



— программные инструменты для ввода данных в модель через интерфейсную часть и для их последующего извлечения в прикладной части;

— основы методологии и способы обмена цифровыми наборами данных с различной структурой и форматами (прототип спецификации GeoSciML).

Разработка самой базы данных не входила в круг задач комитета, оставаясь в компетенциях геологических служб США и Канады, которые занимались дальнейшей адаптацией и спецификацией под конкретные условия применения.

Успешные результаты NADM-C1 по стандартизации данных и последующий прогресс в подготовке цифровых геологических карт на отдельные регионы США и Канады вызвали закономерный интерес геологических служб многих стран мира. В связи с этим работы по совершенствованию концепции NADM-C1, логических структур баз данных, созданию языка обмена GeoSciML, обеспечивающего взаимодействие цифровых геологических данных через сеть Интернет, были переданы под управление Международного союза геологических наук (International Union of Geological Sciences, IUGS). Ниже приведены основные характеристики базовой модели NADM:

*Иерархическая структура.* Данные организованы в виде иерархических классов и атрибутов, что позволяет учитывать как общие черты геологических объектов, так и их уникальные свойства.

*Стандартизация данных.* Модель обеспечивает единые правила для описания любых геологических объектов.

*Интеграция с другими моделями.* NADM была разработана с учетом необходимости совместимости другими моделями данных и международными стандартами.

NADM-C1 и основанные на ней стандарты нашли широкое применение в создании сводных баз геолого-картографических данных. Они значительно упростили обмен данными между геологическими службами разных стран, послужили основой для множества цифровых платформ, предоставляющих доступ к геологической информации, и обеспечили возможность создания динамических карт, которые позволяют пользователям взаимодействовать с данными в интерактивном режиме.

В России развитие цифровой геологической картографии пошло по пути создания дискретных баз данных — полистных цифровых комплектов государственных геологических карт Российской Федерации (далее — Госгеолкарт). Этот подход сохранил методологические принципы традиционного «аналогового» геологического картографирования, при котором итоговым продуктом являлся изданный комплект Госгеолкарты, фиксирующий состояние геологических знаний по территории на момент публикации, в нем «замораживались» существующая на момент издания геологическая парадигма и состояние изученности. Обновление карт происходило дискретно, примерно раз в 30 лет, что в целом укладывалось в понятие «поколение» Госгеолкарты. Вместе с тем, карты геологического содержания, создаваемые в нашей стране, значительно превосхо-

дят по информационной наполненности подобные карты большинства стран мира, а объединенные в комплект формировали многоаспектную модель геологического строения территории конкретного номенклатурного листа.

Различия в подходах вполне закономерны и обусловлены, в первую очередь, историческими предпосылками и организацией работ. В США, Канаде и ряде других стран процесс геологического картосоставления существенно децентрализован, и очень сильны позиции геологических служб отдельных субъектов (штатов, провинций и др.), в которых сложились собственные «автономные» и не всегда сопоставимые методические подходы к картированию, терминологии и оформлению карт. Соответственно, разработки Северо-Американской модели данных были направлены прежде всего на гармонизацию разнородных карт геологического содержания. В России для составления комплектов отдельных листов Госгеолкарт используется единый методический подход, закрепленный нормативными документами, пособиями и рекомендациями. Он и был перенесен в цифру. Формирование единого геологического покрытия предполагалось после завершения подготовки всех полистных комплектов. Сегодня Программа «Госгеолкарта-1000/3» подошла к своему завершению, получен огромный массив цифровых данных, которые будут интегрированы и увязаны в бесшовное покрытие в технологической среде Единой геолого-картографической модели территории Российской Федерации и ее континентального шельфа (далее — ЕГКМ), что обеспечит переход от дискретного (по листам и поколениям) обновления к постоянному полноценному мониторингу геологической информации по всей стране.

## ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ЕГКМ

*Методические предпосылки.* Кратко остановимся на характеристике методики государственного геологического картографирования в части, значимой для его цифровой реализации. основополагающей особенностью российской школы является системный подход к геологическому картографированию, базирующийся на следующих принципах.

*Унификация данных.* Для каждого поколения Госгеолкарты на подготовительном этапе составляются методические руководства и требования к картам комплекта и объяснительной записке, в том числе рекомендуются условные обозначения, что обеспечивает стандартизацию картографической информации.

*Единая понятийная база.* Для всех масштабных уровней сформирована целостная понятийная база. В разные годы составлено нескольких редакций Геологического словаря, Петрографического и Стратиграфического кодексов России, что обеспечивает единую и актуальную терминологическую основу.

*Система серийных легенд.* Картографирование осуществляется на основе заранее подготовленных серийных легенд, разработанных для групп листов, относящихся к конкретным георегионам. Основная

цель серийных легенд заключается в обеспечении взаимосвязанности и согласованности всех отображаемых на картах геологических подразделений и элементов структурно-формационного и минералогического районирования.

**Цифровые модели** стали полноправным элементом методики только в начале нашего века. Подготовка цифровых материалов листа производится в соответствии с требованиями к цифровым моделям и базам данных, соблюдение которых позволяет максимально унифицировать геологические результаты, вне зависимости от исполнителя работы.

Для цифровой государственной геологической карты началом формирования нормативно-методической базы можно считать 2005 г., когда была подготовлена первая редакции «Требований по представлению в НРС и ГБЦГИ цифровых моделей листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения», и к сегодняшнему дню этот документ претерпел значительную трансформацию (в настоящее время актуальна седьмая версия, вторая редакция) [7].

Развитие нормативно-методической базы, безусловно, необходимо и обеспечивает прогресс в картографировании, в то же время комплекты, подготовленные в рамках одного поколения, но в разных версиях Требований имеют разную полноту и качество, а также достаточно существенные отличия в способах организации и форматах цифровых моделей (далее — ЦМ) и сопровождающих баз данных. При формировании цифровых легенд карт не предусматривалось использование единой терминологической основы в виде унифицированных словарей, не проводилась формализация описаний подразделений и не обеспечивалась технологическая связь с цифровыми материалами легенд серий листов (далее — СЛ) Госгеолкарты-1000/3, которые могли бы стать смысловой основой для увязки отдельных комплектов в пределах группы листов. Тем более, что часть СЛ уже была переведена в цифровой вид (текстовое и табличное представление), то есть первый шаг в этом направлении был сделан, но вот создание единой жизнеспособной системы их ведения, несмотря на неоднократные попытки, так и не было реализовано.

Таким образом, можно заключить, что в методическом плане именно для формирования «единого» цифрового покрытия России существовавших «Требований...» было недостаточно, и требовались дополнительные разработки, обеспечивающие переход от полистного к сводному покрытию.

В 2009–2011 гг. в рамках тематических работ ФГБУ «ВСЕГЕИ» (ныне ФГБУ «Институт Карпинского») была разработана Концепция полимасштабной модели Госгеолкарт-1000/3 и -200/2 (Отчет по Государственному контракту № АМ-02-43/8 от 20.06.2008 на создание и поставку научно-технической продукции (НТПр) по базовому проекту 7.4-02/08 «Разработать комплект научно-методических документов и программно-технологических средств для создания унифицированных цифровых геологических карт различных масштабов». Инвен-

тарный номер 498044. Росгеолфонд, Центральное фондохранилище), в которой были учтены некоторые подходы NADM-C1 в части интеграции геологической информации на различных масштабных уровнях и по группам листов.

**Технологические предпосылки.** Здесь нужно отметить, что в том числе и с учетом достижений NADM-C1 в предыдущие годы во ФГБУ «ВСЕГЕИ» был осуществлен ряд технологических разработок, в значительной степени послуживших основой для ЕГКМ.

В 2010 г. началась разработка технологической среды «Макет Национальной геолого-картографической информационной системы» (далее — НГКИС) (Геологический отчет о результатах работ по объекту «Актуализация геологической карты масштаба 1 : 2 500 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа по материалам ГК-1000 третьего поколения», Государственный контракт № АМ-02-34/20 от 19.11.2009, Инвентарный номер 501754. Росгеолфонд, Центральное фондохранилище). Параллельно проводилась подготовка и загрузка в НГКИС базовых слоев полотен геологических и регистрационных карт полезных ископаемых уже составленных комплектов Госгеолкарт-1000/3.

К 2019 г. в НГКИС были загружены фрагменты бесшовных карт (геологическая, полезных ископаемых) масштаба 1 : 1 000 000 по десяти регионам страны. Созданные фрагменты использовались для актуализации сводной геологической карты масштаба 1 : 2 500 000 и ее включения в международные проекты. В процессе работы были апробированы технические решения по интеграции цифровых слоев геологических карт в единую программно-технологическую среду, организации доступа к этим картам по локальным и глобальным компьютерным сетям, использованию международных стандартов взаимодействия для формирования глобального покрытия на территорию Земли (проект OneGeology).

В 2012–2018 гг. был реализован ряд проектов по интеграции отдельно ведущихся централизованных информационных ресурсов (БД Госгеолкарт-Георастры Госгеолкарт, Геохронологический атлас-справочник основных структурно-вещественных комплексов России, Система учета и интерактивная карта перспективных площадей, Электронный стратиграфический словарь фанерозоя России, Интерактивные карты петротипов-стратотипов и др.) в единый геолого-картографический массив. В 2017 г. начато формирование Централизованного хранилища первичных геологических данных «Карта фактов», в 2018 г. разработана система унифицированных словарей и онтологий, в 2019 г. — Система ведения легенд серий листов 1000/3, в 2020 г. — Централизованный ресурс объектов полезных ископаемых России (все эти информационные ресурсы впоследствии вошли в технологию ЕГКМ).

Значительным вкладом в подготовку технологии ЕГКМ можно считать наши работы в рамках международных проектов OneGeology, GeoSciML,

EarthResourceEML, Minerals4Europe, EGD и прочих пилотных разработках в области построения крупных информационных систем.

Таким образом сформировалась уникальная ситуация, крайне благоприятная для совершения следующего качественного скачка в сфере государственного геологического картографирования, ниже приведены основные факторы, способствующие этому:

- наличие условно однотипных цифровых материалов по большинству номенклатурных листов масштаба 1 : 1 000 000;

- необходимость перевода геологического картографирования масштаба 1 : 1 000 000 в формат мониторинга;

- наличие апробированных мировых разработок;

- наличие собственных разработок;

- наличие централизованных массивов, специализированных геологических данных (стратотипы, петротипы, объекты полезных ископаемых, первичные данные, изученность и т. д.);

- универсальность современных требований к цифровым материалам комплектов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000 [7].

Существенным аргументом в пользу разработки собственных решений является необходимость обеспечения технологического суверенитета и максимальной независимости от внешнего программного обеспечения.

## РЕАЛИЗАЦИЯ ЕГКМ

К 2021 г. были подготовлены проект «Концепции организации и технологического развития мониторинга государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа (2020–2035 гг.)» [8] и «Практическое руководство по мониторингу государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа», определяющие цели, задачи и порядок ведения мониторинга государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 с использованием Единой геолого-картографической модели в которых изложены первоначальные (стартовые) требования к ЕГКМ. Технология должна обеспечить возможность оперативной актуализации и удаленный доступ ко всем геологическим данным, возможность представления массива геологической информации в интерактивном режиме через веб-интерфейс, увязку атрибутивной и пространственной информации цифровых моделей Госгеолкарты-1000/3 с базовыми информационными ресурсами, оперативную выгрузку полистных комплектов Госгеолкарты-1000 (в полном составе или частично, по выбору пользователя) в ГИС-формате, формирование карт геологического содержания по регионам и крупным геологическим структурам.

В том же 2021 г. была начата работа по моделированию и разработке технологии ЕГКМ, которая проводится Центром информационных технологий по регио-

нальной геологии и металлогении ФГБУ «Институт Карпинского» с привлечением ООО «Минерал-Инфо» для решения отдельных задач.

**Методические основы ЕГКМ.** Единая геолого-картографическая модель базируется на технологически нейтральной концептуальной основе, определяющей основные классы понятий и связи между ними, со специальным акцентом на информации, отображаемой на цифровых Госгеолкартах масштабов 1 : 200 000–1 : 1 000 000 и в цифровых материалах серийных легенд. Принципиальным моментом концепции является положение о том, что в рамках единой модели должны быть увязаны понятия, используемые для отображения геологических объектов (на карте разрезе, легенде) и описания их геологического содержания (ранг, вещественный состав, генезис и т. д.), а для классификации всех объектов используется единая система онтологий. Именно такой подход, основанный на самых общих принципах интеграции информации геологических карт в едином понятийном пространстве, обеспечивает эффективность применения ЕГКМ для разномасштабных и разноплановых геологических построений и задач.

В основу модели данных положены общие подходы к структуризации цифровой информации комплекта, предусмотренные Требованиями к ЦМ Госгеолкарты, что обеспечило возможность достаточно безболезненной интеграции уже созданных комплектов в единую базу данных. Вместе с тем, указанные Требования декларировали «самодостаточность» одного листа и не предполагали возможность увязки нескольких листов даже в пределах группы или георегиона, а тем более создание единого на всю страну бесшовного геологического покрытия, что существенно ограничивало область их применения для построения ЕГКМ и потребовало привлечения дополнительных уровней организации данных.

Смысловой основой для организации данных отдельных комплектов в пределах группы листов по конкретному георегиону является серийная легенда, для более высокого уровня организации данных и межсерийной корреляции используется система из 21 серийной легенды, полностью покрывающая территорию России, ее континентального шельфа и прилегающих акваторий.

Таким образом, разработанная модель на уровне единичного комплекта наследует основные черты ЦМ Госгеолкарты. А для формирования бесшовных фрагментов, межсерийной корреляции, обеспечения возможности анализа и обобщения информации, а также создания полимасштабного покрытия используются дополнительные решения, подготовленные нами, в том числе в рамках ранее проведенных опытно-методических работ и международного сотрудничества. Ниже приводятся наиболее интересные, на наш взгляд, подходы, обеспечивающие интеграцию данных.

*Многоуровневая организация данных.*

Сейчас в модели реализуются три уровня организации информации:

- уровень единичного геологического объекта — картируемого выдела;



— уровень номенклатурного листа карты (легенды листа) — группы однотипных картируемых выделов («композиционные объекты») на листе карты. В зависимости от назначения карты группировка может быть выполнена по возрасту, вещественному составу, обстановкам формирования и т. д. — например, все картируемые выделы, относящиеся к конкретной свите или комплексу;

— уровень группы листов серийной легенды (либо сводной, специализированной легенды) — наборов однотипных групп объектов («композиционных объектов») смежных листов, сформированных на основе определенных геологических обобщений, например, все картируемые объекты конкретной свиты или комплекса в пределах всех листов серийной легенды.

Структура описания объектов на всех уровнях информации унифицирована и обеспечивается единым пулом атрибутов. Объекты всех уровней как основной/дополнительный атрибут могут иметь пространственное отображение (полигон, линия, точка). Формирование композиционных объектов (групп, наборов) может осуществляться на основании любых понятий и их комбинаций, описанных при помощи формализованных значений, содержащихся в иерархических словарях (онтологиях). В зависимости от назначения карты группировка может быть выполнена:

— на основе общих характеристик картируемых объектов, таких как ранг и возраст;

— на основании отдельных составляющих объекта, включенных в его описание (минеральное вещество (порода), форма геологического тела и т. д.);

— на основании свойств отдельных составляющих элементов объекта (состав химический, степень консолидации, отдельность, морфология зерен, размер частиц и т. д.).

В пределах каждой из серийных легенд для объектов (групп, наборов) различных уровней организации информации предусматривается два типа связи: между картируемыми объектами и их описаниями в легенде листа карты (однотипной группы) устанавливается связь типа один-ко-многим; между описаниями объектов полистной легенды и серийной легендой (наборами однотипных групп) используется связь многие-ко-многим.

*Межсерийная корреляция.* Выполняется для увязки между собой подразделений различных серийных легенд как внутри одного масштаба картографирования, так и различных масштабных уровней (рис. 1), предусматривается применение промежуточных корреляционных таблиц «геологические отношения», которые используют связи «многие-ко-многим» и определяют вид геологических отношений, таких как «принадлежит», «прорывает», «содержит», «частичный/полный эквивалент» и т. д.

*Формализация данных.* Обеспечивает унификацию описаний геологической информации Гостеолкарт масштабов 1 : 200 000–1 : 1 000 000 и серийных легенд соответствующих масштабов через использование единой терминологической основы. Поддерживается с помощью системы взаимоувязанных иерархически организованных наборов словарей (онтологий) в объеме, приемлемом для решения практических задач по поиску и анализу информации. При ее проектировании учитывалась возмож-

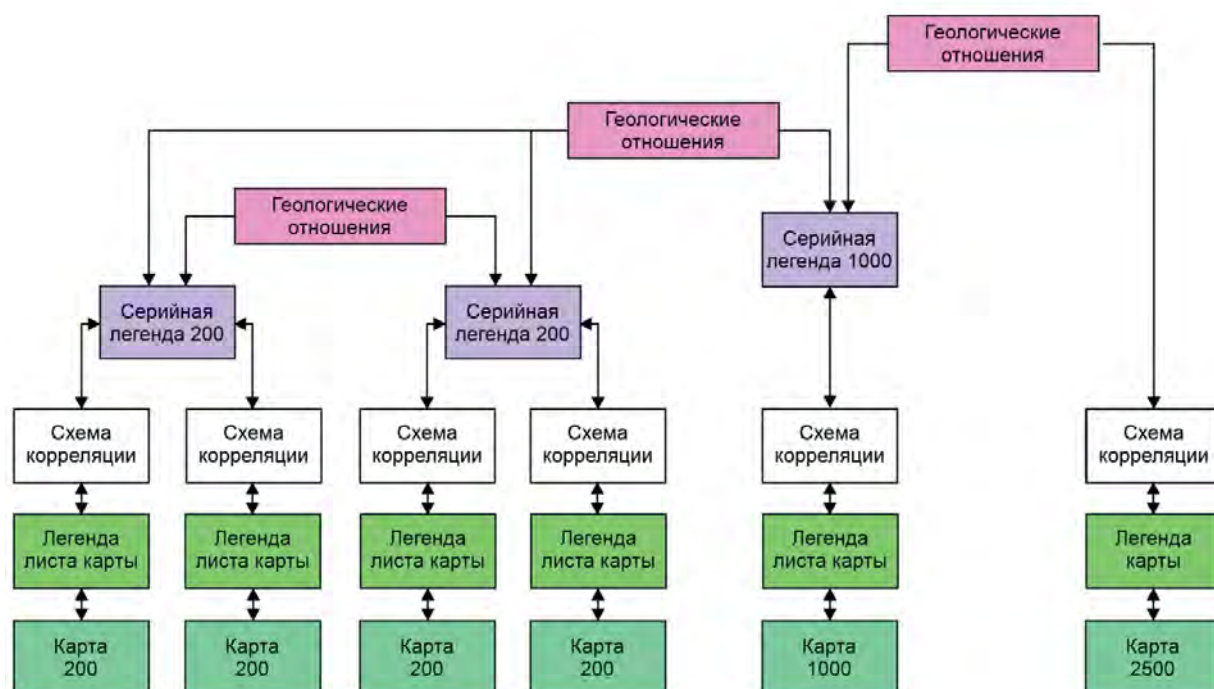


Рис. 1. Используемые принципы корреляции

Fig. 1. Correlation principles

ность расширения как за счет включения новых словарей, так и пополнения набора словарных терминов внутри каждого словаря, что обеспечило гибкость и полноту формализации описаний авторских материалов.

В настоящее время в модель включены словари для геологических подразделений (ранг подразделения, генетический тип, тип фации, породный состав, соотношение, тип металлотекта, тип границы) и описания пород, выделяемых в составе картируемого подразделения (генезис, степень кристалличности, степень однородности, обстановка формирования, форма тела, морфология частиц, химический состав, степень консолидации).

Таким образом, принятая в ЕГКМ схема организации информации обеспечивает целый ряд принципиально новых возможностей, основными из которых являются следующие:

1. Взаимоувязанный совместный мониторинг всех базовых информационных ресурсов:

— на масштабных уровнях государственного геологического картографирования: единичные картируемые объекты карт масштаба 1 : 200 000–1 : 1 000 000 — полистные легенды масштаба 1 : 200 000–1 : 1 000 000 — серийные легенды масштаба 1 : 200 000–1 : 1 000 000;

— на уровне сводного и обзорного картографирования: единичные картируемые объекты карт масштаба 1 : 2 500 000–1 : 5 000 000 — легенды карт масштаба 1 : 2 500 000–1 : 5 000 000;

— в рамках «бесшовной» карты территории Российской Федерации и ее континентального шельфа: единичные картируемые объекты карт масштабов 1 : 200 000–1 : 5 000 000 — укрупненные (сводные) легенды по крупным георегионам — сводная легенда по территории России.

2. Формирование запросов, в том числе комбинированных, как к объекту, группам объектов картографирования в целом (свита, толща, комплекс), так и к любой из выделяемых в их составе литологических (петрографических) составляющих, охарактеризованных по общему набору признаков (например, генезис, обстановка формирования и т. д.).

3. Построение любых видов легенд, в том числе зональных, на основании всех признаков, определенных при формализации описаний картируемых подразделений, их вещественного состава и различных типов связей (вмещает, перекрывает согласно/несогласно, принадлежит, прорывает, содержит, частичный/полный эквивалент и т. д.), в пределах одного или нескольких масштабных уровней. Автоматическое построение карт и схем по созданным легендам.

4. Проведение планомерной и целенаправленной разработки единых технологических инструментов для совместного анализа, увязки и обобщения материалов Госгеолкарт и серийных легенд всех масштабных уровней.

Программно-технологическая база ЕГКМ условно может быть разделена на три части: аппаратную часть и базовое программное обеспечение, базу данных, технологии и пользовательские интерфейсы.

1. Аппаратная часть состоит из СХД IBM Storwize-3700, кластера из двух серверов IBM Blade HS22 и двух серверов UTINET (Intel Xeon Gold 6424R, 384 Гб ОЗУ).

В качестве базового программного обеспечения используются операционные системы AltLinux, средство контейнерной виртуализации Docker, СУБД PostgresPro.

Хотя с начала создания системы прошло всего 3 года, уже был выполнен переход с СУБД Oracle на отечественную СУБД Postgres Pro, который можно рассматривать в том числе как успешную проверку разработанных технологических решений на универсальность.

2. БД включает следующие смысловые блоки:

— блок структурированных пространственных и атрибутивных данных содержит геопривязанные объекты загруженных комплектов. Структура этого блока в целом наследует структуру цифровых моделей, данные загружаются и редактируются в виде, соответствующем требованиям ЦМ;

— блок Серийных легенд содержит подразделения серийных легенд и их описания (в т. ч. в формализованном структурированном виде), наборы шкал (стратиграфические, биозональные и т. д. как общие, так и региональные), возрастные срезы со структурно-формационным районированием;

— блок Полистных легенд содержит подразделения полистных легенд и их описания (в т. ч. в формализованном структурированном виде) и выступает связующим звеном между СЛ и картами. Позволяет увязать элементы СЛ с картируемыми объектами;

— блок объяснительных записок содержит объяснительные записки, преобразованные в удобный для отображения формат и размеченные для связи с элементами карты;

— блок словарей содержит словари, используемые для формализации описаний карт, полистных и серийных легенд и, соответственно, для поиска/фильтрации данных;

— блок Электронной базы знаков содержит правила изображения отдельных знаков на карте. Используется при оформлении веб-карты, а также при отрисовке подразделений серийной легенды;

— блок связи с внешними базами данных содержит ссылки на внешние ресурсы. Позволяет увязать элементы ЕГКМ с объектами внешних БД;

— блок технических данных содержит описание цифровой модели в виде списка слоев и списка полей с указанием допустимых значений; необходимую для публикации версию данных на определенный момент времени, преобразованную в формат, оптимальный для изображения веб-карты; политики управления правами доступа; историю изменений и загрузки данных и т. д.

Между блоками геологических данных в базе установлены связи (например, каждый картографируемый геологический выдел блока пространственных данных имеет привязку к соответствующему элементу блока полистной легенды, каждый элемент полистной легенды связан с соответствующим элементом блока серийной легенды, каждая объяснительная

записка имеет в разметке ссылку на соответствующий элемент полистной легенды, карты и т. д.).

3. Разработанная технология включает следующие программные модули и интерфейсы:

— модуль администрирования позволяет управлять назначением прав и выполнять обслуживание базы данных;

— модуль загрузки и изменения данных позволяет выполнить первоначальную загрузку подготовленных карт в формате ЦМ в централизованную БД (при этом данные проверяются на предмет соответствия требованиям), выгрузку данных и их редактирование (мониторинг) с последующей повторной загрузкой в БД, а также включает средства управления публикацией. Технически выполнен в виде комплекса из Desktop-приложения (включая модуль валидации данных), запускаемого у оператора на компьютере и веб-сервисов, работающих на стороне сервера;

— модуль Серийных легенд служит для создания, просмотра и редактирования серийных и полистных легенд, разноуровневых таксонов районирования, шкал (стратиграфических, биоэональных и т. д.). Представлен в виде веб-приложения;

— модуль отображения карты служит для просмотра загруженных карт, а также для их платформенно независимого редактирования непосредственно в окне браузера. Включает механизмы оформления карты с использованием Эталонной базы условных знаков (далее — ЭБЗ), поиска данных (по текстовым полям и формализованным признакам, в т. ч. с использованием иерархических словарей), печати макетов карт (включая настройку макета печати). Технически выполнен в виде картографического веб-приложения.

Пользовательские интерфейсы разработанной технологии включают интерфейс модуля отображения карты, интерфейс информационной системы серийных легенд и интерфейс внешних связанных БД:

— интерфейс модуля отображения карты (рис. 2.).

Главный экран веб-представления состоит из картографического окна, отведен для показа карт и схем блока пространственных данных и элементов рамочного оформления.

Левая панель содержит каталог отображаемых материалов, карты сгруппированы по типу данных (тип карты, компонент, имя слоя). В верхней части раздела можно выбрать комплекты, которые нужно отобразить (по умолчанию отрисовывается карта/схема на всю территорию РФ). Можно назначать к показу группы листов выбором номенклатур или указанием георегиона. Все компоненты оформляются «на лету» с наследованием свойств из информационного ресурса «Серийные легенды» и с использованием ЭБЗ.

В меню типа карты можно выбрать для отображения элементы рамочного оформления. Условные обозначения, разрезы, записки открываются в дополнительных внутренних окнах. Информационная система обеспечивает интерактивную связь между элементами в открытых окнах, например, выбрав подразделение на карте, можно сфокусировать соответствующий элемент в легенде, подсветить его представление в разрезе и выделить описание этого подразделения в объяснительной записке (или в обратном направлении) — такая связь работает между всеми окнами.



Рис. 2. Интерфейс модуля отображения карты

Fig. 2. Map display module interface



Окно легенды состоит из трех частей: Условные обозначения базовых подразделений, Прочие условные обозначения и Схема корреляции. Условные обозначения строятся автоматически, в зависимости от содержания карты и показываемого фрагмента (лист, группа листов, георегион), по тому же принципу формируется и Схема корреляции.

Для всех элементов веб-представления доступны стандартные функции: приблизить/удалить, показать в масштабе, изменить порядок слоев, прозрачность, открыть таблицу атрибутов, выполнить поиск.

В приложении реализованы функции печати в выбранном масштабе с предварительной настройкой компоновки, можно выбрать какие элементы карты будут выведены на печать и разместить их на печатном листе;

— интерфейс информационного ресурса «Серийные легенды» (рис. 3.) представляет схему корреляции, где «кубиками» (с учетом типа взаимоотношений с выше-нижележащими подразделениями, фаз и фаций) изображены геологические подразделения Блока Серийных легенд, в верхней части экрана приведено районирование в виде иерархических заголовков, в левой — стратиграфические шкалы (предустановлена Общая стратиграфическая шкала). В начале работы пользователь выбирает из соответствующих списков нужную СЛ, возрастные срезы и дополнительные шкалы, оформление производится автоматически, в соответствии с ЭБЗ. Все элементы интерактивны: если щелкнуть по подразделению — отобразится меню с детальным формализованным описанием. Щелкнув по элементу шкалы, можно получить информацию о возрасте.

При наличии соответствующих прав в интерактивном меню доступны функции создания, клонирования, удаления и редактирования (формализованные параметры можно менять, выполнять увязку элементов друг с другом, привязку к шкалам и т. д.).

Следует отметить базовый принцип системы ведения серийных легенд. Подразделение вводится в СЛ (корреляционную схему) только один раз и отображается в виде «кубика», средствами системы кубик размещается в заданном таксономическом районировании, в определенных стратиграфических границах (в т. ч. осуществляется его привязка к региональному горизонту), с использованием соответствующих иерархических словарей назначается тип, генезис, вводится авторское и формализованное описание породного состава и т. д. Все остальные представления этого подразделения в различных таксонах структурно-формационного районирования создаются клонированием с последующим уточнением его характеристик и конкретизацией для каждой зоны (стратиграфический объем, породный состав, тип стратиграфических границ, металлогеническая специализация и т. д.). Поскольку подразделения динамически увязаны с региональными горизонтами, то при изменении границы регионального горизонта автоматически пересчитываются стратиграфический объем соответствующего подразделения и его позиция. Система уведомляет об этом автора, который может подтвердить или отклонить предложенные изменения.

Также непосредственно в окне браузера предоставляются широкие функции глобального редактирования конкретной серийной легенды (при

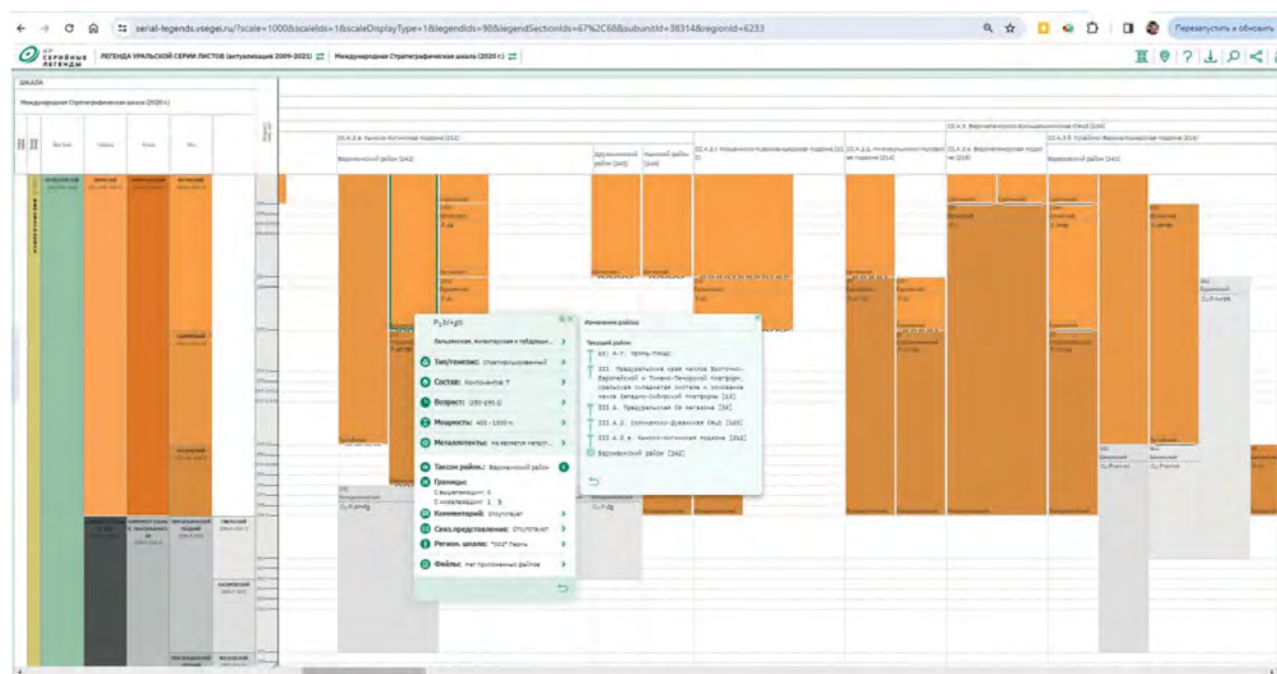


Рис. 3. Интерфейс информационного ресурса «Серийные легенды»

Fig. 3. Interface of the data resource "Serial Legends"

наличии соответствующих прав), можно создавать разноранговые элементы районирования (зона, подзона, район и т. д.), добавлять или объединять возрастные срезы, управлять шкалами и т. д. Кроме того, предусмотрена возможность адаптивной настройки веб-интерфейса под себя.

Полистная легенда создается в дополнительном окне путем клонирования подразделений из серийной с последующим уточнением их характеристик для данного листа. Создать подразделение непосредственно в полистной легенде невозможно (только «перетаскиванием» из СЛ), таким образом обеспечивается преемственность полистной легенды по отношению к серийной.

В серийных легендах также предусмотрено картографическое окно, в котором отображается (подсвечивается) пространственное положение выбранных в корреляционной матрице таксонов районирования на структурно-формационной схеме в соответствующем возрастном срезе.

В интерфейсе предусмотрен вывод на печать в PDF файл корреляционной схемы серийной и полистной легенд, а также создание DBF-таблицы для использования в качестве цифровой легенды при локальной работе;

— интерфейсы внешних связанных ресурсов (рис. 4).

В каталоге доступных материалов также можно выбрать к отображению связанные карты и данные внешних централизованных информационных ресурсов, в том числе Карту фактического материала, Геохронологический атлас-справочник, Перечень стратотипов территории РФ, Перечень петротипов территории РФ, Ресурс полезных ископаемых, Георастры Госгеолкарт. Набор доступных ресурсов пополняется по мере необходимости.

Выбранный ресурс подключается в картографическом представлении в виде карты, если щелкнуть по любому ее элементу, отобразится всплывающее окно с краткой информацией и с возможностью открыть детальное описание в связанном ресурсе.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Основным результатом разработки стала система для ведения мониторинга государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000. На настоящий момент в Единую геолого-картографическую модель территории России и ее континентального шельфа загружено и переведено в режим мониторинга 19 комплектов Госгеолкарты-1000/3, включающих 16 типов карт и схем, более 3,5 млн геологических объектов и 110 000 объектов полезных ископаемых.

Одним из достижений можно считать создание информационного ресурса «Серийные легенды». Уже сейчас он становится не только хранилищем и инструментом мониторинга серийных и полистных легенд, но и достаточно удобной системой для работы со стратиграфическими шкалами. Помимо международной и общих шкал разных лет, в ресурс добавлены 426 региональных и 17 биозональных шкал, а также шкала морских изотопных стадий.

Апробирована технология совместного редактирования картографических материалов и геологических описаний серийных легенд, обеспечена работоспособность связанных централизованных массивов геологических данных и их интеграция в едином пользовательском интерфейсе.

Решена проблема однозначности и актуальности информации — ЕГКМ не допускает возможности

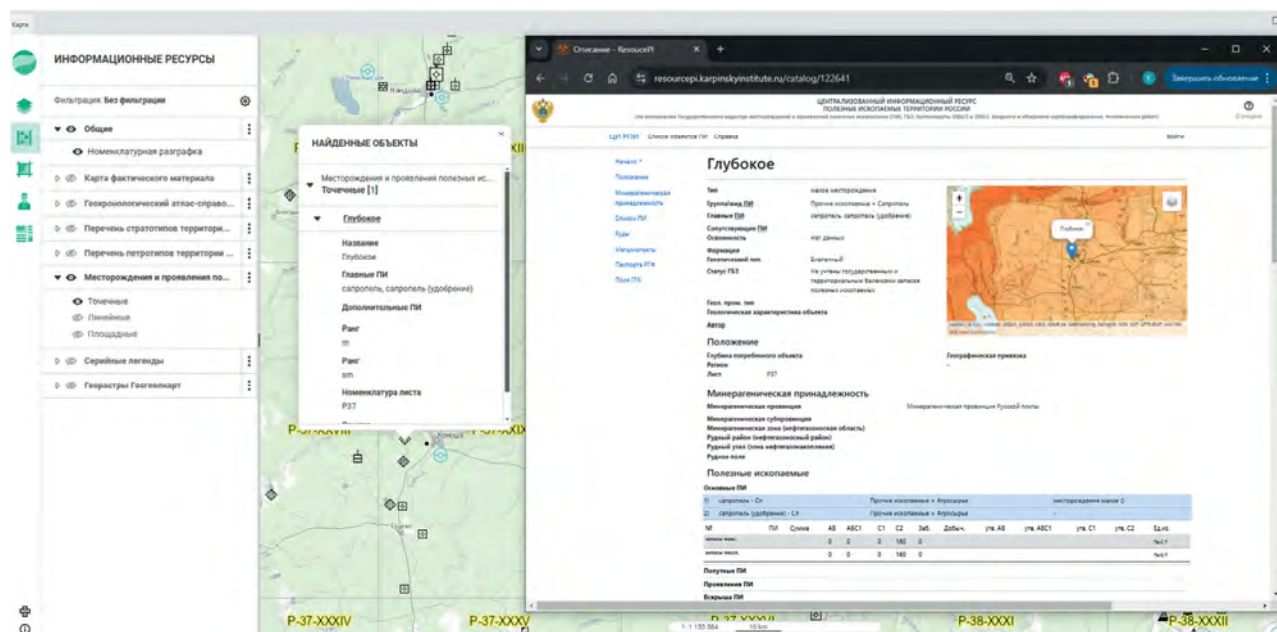


Рис. 4. Внешние связанные БД (на примере ИР «Полезные ископаемые»)

Fig. 4. External associated databases (based on the data resource “Mineral resources”)

одновременного принятия противоречивых данных, например, одного варианта для рассмотрения на Научно-редакционном совете и другого для загрузки в БД. То же для серийных легенд — не может существовать элемент районирования (зона, район) и подразделение (свита, комплекс) в полистной легенде при его отсутствии в серийной.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В 2024 г. завершается первый трехлетний этап работ по созданию Единой геолого-картографической модели. Можно отметить, что текущий уровень технической реализации решает все основные задачи, которые ставились перед системой в целом, — обеспечение возможности мониторинга и веб-представления структурированного массива цифровой геологической информации комплектов государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000.

Важным достижением этого этапа стало построение технологического процесса перевода цифровой геологической информации из послойного файлового представления Госгеолкарты-1000/3 в структуры базы данных ЕГКМ. Ключевой фактор успеха — использование существующих методологических основ. Вместо попыток коренной перестройки структуры данных при разработке модели были учтены принципы разбиения цифровых материалов комплекта по пакетам и слоям, предусмотренные существующими требованиями к Госгеолкарте. Этот подход минимизировал трудозатраты для исполнителей мониторинга, устранив необходимость значительной переработки исходных данных и разработки дополнительных конверторов. Тщательный предварительный анализ и последовательное совершенствование схемы данных для «унаследованных» структур, а также добавление новых элементов для обеспечения разноуровневой интеграции информации позволили провести трансформацию с минимальными рисками, сохранив преемственность структуры и содержания цифровых материалов Госгеолкарты.

Впервые в единую систему объединены три ключевых компонента Госгеолкарты — картографические материалы и базы данных, легенды серий листов, объяснительные записки. Совместное ведение этих ресурсов позволило устранить многолетнюю проблему несоответствия характеристик геологических подразделений в серийных легендах и легендах карт. Теперь описание картируемого подразделения формируется в серийной легенде как обобщенная сущность, далее клонируется в полистную легенду, где выполняется его уточнение для конкретного листа, при этом сохраняются связь и учет этого подразделения в исходной легенде серии.

Подобный подход внедряется и для элементов районирования. Формируемая в пределах каждого листа схема является фрагментом общей схемы структурно-формационного районирования серийной легенды и ее матричного представления, вне-

сение изменений в один из элементов этой системы автоматически отражается в других.

Также следует отметить внедрение подходов к классификации геологической информации, разработанных в рамках работ по созданию «Концепции полимасштабной модели...». В модели предусматривается их реализация через систему иерархических словарей, применяемых для описания предметной области.

В 2025 г. планируется развитие ЕГКМ для автоматизированной подготовки производных и специализированных карт, в том числе направленных на прогнозирование перспективных участков недр на основе применения пространственно-статистических методов анализа геоданных. Источником для анализа станут стандартизированные по крупным георегионам наборы геологических данных и карты-признаки, определяемые конкретной геолого-генетической моделью и выбранной технологией прогноза. Формирование этих карт будет выполняться непосредственно в ЕГКМ на основе набора критериев, описываемых при помощи иерархических словарей.

Начинаются работы по реализации технологии «полимасштабности», которая уже предусмотрена на модельном уровне и должна охватить весь масштабный ряд государственного геологического картографирования. Соответственно, для интеграции среднемасштабных карт предусматривается дополнение блока серийных легенд и картографического блока тестовыми комплектами Госгеолкарты-200. Существующий пул технических решений будет адаптирован и расширен возможностью проверки, валидации и загрузки цифровых моделей ГК-200, и подготовлена технология, обеспечивающая увязку разномасштабных геологических объектов и их описаний.

Также для обеспечения «полимасштабности» в 2025 г. предусматривается проведение первого этапа работ по созданию механизма автоматизированной генерализации геологических объектов, что позволит формировать геологическую основу для сводного и обзорного масштабного уровня. Одной из ключевых особенностей создаваемой технологии станет «наследование» и учет геологических характеристик местных подразделений, включаемых в укрупненные объекты.

Эта технология обладает рядом преимуществ: во-первых, она обеспечивает объективность и воспроизводимость используемых подходов к генерализации геологической информации, во-вторых, сохраняет авторскую методику интерпретации данных. Кроме того, при таком решении возможен переход на формирование специализированных сводных и обзорных карт (например, тектонической, прогнозно-металлогенической, карты магматических формаций и т. д.) из единого набора геологических объектов карт более крупных масштабов, что исключит «перерисовку» объектов и обеспечит идентичность геологических границ на всех масштабных уровнях и типах карт.

Отдельно следует отметить работы по автоматизированной подготовке аналоговой версии ком-



плекта. В настоящее время в составе системы реализован базовый функционал аналоговой публикации, обеспечивающий подготовку «упрощенного» макета издательского листа с ограниченным набором фреймов и их жесткой привязкой. В 2025 г. будут созданы элементы макетирования как для отдельных элементов (полотна карты, разрезов, легенды, разномасштабных схем зарамочного оформления), так и «издательского» листа в целом, также планируется реализация аналогового представления для единых карт по группам листов и георегионам с возможностью формирования динамического набора подразделений легенды и корреляционной схемы.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Digital geologic map data model Version 4.3 September 27 / B. R. Johnson [et al.]. URL: <https://ngmdb.usgs.gov/www-nadm/prd/Model43a.pdf> (дата обращения: 13.12.2024).
2. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1334 «NADM Conceptual Model 1.0 Conceptual Model for Geologic Map Information» // By North American Geologic Map Data Model (NADM) Steering Committee Data Model Design Team. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1334/2004-1334.pdf> (дата обращения: 13.12.2024).
3. Appendix A. Philosophical and operational guidelines for developing a North American science language standard for digital geological map databases. Version 1.0 // North American Geologic-Map Data Model Steering Committee Science Language Technical Team (SLTT). URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1451/slitt/appendixA/appendixA.pdf> (дата обращения: 13.12.2024).
4. Appendix B. Classification of metamorphic and other composite genesis rocks, including hydrothermally altered, impact metamorphic, mylonitic and cataclastic rocks. Version 1.0 // North American Geologic-map Data Model Steering Committee Science. Language Technical Team (SLTT) Composite-Genesis Subgroup. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1451/slitt/appendixB/appendixB.pdf> (дата обращения: 13.12.2024).
5. Appendix D. Volcanic materials science language for their naming and characterization digital geological map database // Version 1.0; North American Geologic-map Data Model Steering Committee Science Language Technical Team (SLTT) Volcanic. URL: Subgroup <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1451/slitt/appendixD/appendixD.pdf> (дата обращения: 13.12.2024).
6. Report on Progress to develop a North American Science-Language Standard for Digital Geologic-Map Databases // North American Geologic Map Data Model Steering Committee Science. URL: [https://www.researchgate.net/publication/313194559\\_TECHNICAL\\_REPORT\\_North\\_American\\_Geologic-Map\\_Data\\_Model\\_Science\\_Language\\_Technical\\_Team\\_2004\\_Report\\_on\\_progress\\_to\\_develop\\_a\\_North\\_American\\_science-language\\_standard\\_for\\_digital\\_geologic-map\\_databases](https://www.researchgate.net/publication/313194559_TECHNICAL_REPORT_North_American_Geologic-Map_Data_Model_Science_Language_Technical_Team_2004_Report_on_progress_to_develop_a_North_American_science-language_standard_for_digital_geologic-map_databases) (дата обращения: 13.12.2024).
7. Единые требования к составу, структуре и форматам представления в НРС Роснедра комплектов цифровых материалов листов Государственных геологических карт масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000. Версия 1.7. Редакция 2. СПб. : Картографическая фабрика института им. А. П. Карпинского, 2024. 182 с.
8. Концепция организации и технологического развития мониторинга государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа (2020–2035 гг.). URL: [https://karpinskyinstitute.ru/ru/conf/summary/ggk-21/decision/Concept\\_mon15\\_06\\_2021.pdf](https://karpinskyinstitute.ru/ru/conf/summary/ggk-21/decision/Concept_mon15_06_2021.pdf) (дата обращения: 13.12.2024).

Таким образом, можно констатировать, что впервые в отечественной и мировой практике разработана промышленная технология мониторинга комплексной геологической информации в рамках единой геолого-картографической модели общегосударственного охвата. Векторы ее развития будут определяться приоритетными направлениями региональных работ в соответствии с основными положениями «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года» (утверждена распоряжением Правительством Российской Федерации от 11.07.2024 №1838-р).

## REFERENCES

1. Digital geologic map data model Version 4.3 September 27 / B. R. Johnson [et al.]. URL: <https://ngmdb.usgs.gov/www-nadm/prd/Model43a.pdf> (accessed 13.12.2024).
2. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1334 «NADM Conceptual Model 1.0 Conceptual Model for Geologic Map Information». By North American Geologic Map Data Model (NADM) Steering Committee Data Model Design Team. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1334/2004-1334.pdf> (accessed 13.12.2024).
3. Appendix A. Philosophical and operational guidelines for developing a North American science language standard for digital geological map databases. Version 1.0. *North American Geologic-Map Data Model Steering Committee Science Language Technical Team (SLTT)*. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1451/slitt/appendixA/appendixA.pdf> (accessed 13.12.2024).
4. Appendix B. Classification of metamorphic and other composite genesis rocks, including hydrothermally altered, impact metamorphic, mylonitic and cataclastic rocks. Version 1.0. *North American Geologic-map Data Model Steering Committee Science. Language Technical Team (SLTT) Composite-Genesis Subgroup*. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1451/slitt/appendixB/appendixB.pdf> (accessed 13.12.2024).
5. Appendix D. Volcanic materials science language for their naming and characterization digital geological map database. Version 1.0. North American Geologic-map Data Model Steering Committee Science Language Technical Team (SLTT) Volcanic Subgroup. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1451/slitt/appendixD/appendixD.pdf> (accessed 13.12.2024).
6. Report on Progress to develop a North American Science-Language Standard for Digital Geologic-Map Databases. *North American Geologic Map Data Model Steering Committee Science*. URL: [https://www.researchgate.net/publication/313194559\\_TECHNICAL\\_REPORT\\_North\\_American\\_Geologic-Map\\_Data\\_Model\\_Science\\_Language\\_Technical\\_Team\\_2004\\_Report\\_on\\_progress\\_to\\_develop\\_a\\_North\\_American\\_science-language\\_standard\\_for\\_digital\\_geologic-map\\_databases](https://www.researchgate.net/publication/313194559_TECHNICAL_REPORT_North_American_Geologic-Map_Data_Model_Science_Language_Technical_Team_2004_Report_on_progress_to_develop_a_North_American_science-language_standard_for_digital_geologic-map_databases) (accessed 13.12.2024).
7. Standard requirements for the content, structure, and formats of submitting digital sheets sets of the State Geological Map at scales of 1 : 1,000,000 and 1 : 200,000 to Rosnedra's scholarly editorial council. Version 1.7. Edition 2. St. Petersburg: Karpinsky Institute Cartographic Factory; 2024. 182 p. (In Russ.).
8. Organization and technological development concept of monitoring the State Geological Map of the Russian Federation territory and its continental shelf at a scale of 1 : 1,000,000 (2020–2035). URL: [https://karpinskyinstitute.ru/ru/conf/summary/ggk-21/decision/Concept\\_mon15\\_06\\_2021.pdf](https://karpinskyinstitute.ru/ru/conf/summary/ggk-21/decision/Concept_mon15_06_2021.pdf) (accessed 13.12.2024). (In Russ.).

### **Виктор Викторович Снежко**

Кандидат геолого-минералогических наук,  
заместитель генерального директора —  
директор Центра информационных технологий  
по региональной геологии и металлогении

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код РИНЦ 8343-4328  
viktor\_snezhko@karpinskyinstitute.ru

### **Павел Владимирович Химченко**

Кандидат технических наук,  
генеральный директор

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код РИНЦ 5717-8897  
Pavel\_Khimchenko@karpinskyinstitute.ru

### **Максим Александрович Ткаченко**

Кандидат геолого-минералогических наук,  
первый заместитель генерального директора

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-1524-617X>  
ResearcherID P-9333-2017  
SPIN-код РИНЦ 8128-5490  
maksim\_tkachenko@karpinskyinstitute.ru

### **Ольга Николаевна Снежко**

Кандидат геолого-минералогических наук,  
и. о. заведующего отделом отраслевых  
информационных систем и банков данных,  
Центр информационных технологий  
по региональной геологии и металлогении

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код РИНЦ 6164-9800  
olga\_snezhko@karpinskyinstitute.ru

### **Евгений Александрович Коваленко**

Начальник отдела программно-технологического обеспечения,  
Центр информационных технологий  
по региональной геологии и металлогении

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

kiji@karpinskyinstitute.ru

### **Viktor V. Snezhko**

PhD (Geology and Mineralogy),  
Deputy Director General — Head, Centre of Informational  
Technologies on Regional Geology and Metallogeny

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

RSCI SPIN-code 8343-4328  
viktor\_snezhko@karpinskyinstitute.ru

### **Pavel V. Khimchenko**

PhD (Engineering),  
Director General

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

RSCI SPIN-code 5717-8897  
Pavel\_Khimchenko@karpinskyinstitute.ru

### **Maksim A. Tkachenko**

PhD (Geology and Mineralogy),  
First Deputy Director General

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-1524-617X>  
ResearcherID P-9333-2017  
RSCI SPIN-code 8128-5490  
maksim\_tkachenko@karpinskyinstitute.ru

### **Olga N. Snezhko**

PhD (Geology and Mineralogy),  
Acting Head, Department of Branch Information  
Systems and Data Banks, Centre of Informational  
Technologies on Regional Geology and Metallogeny

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

RSCI SPIN-code 6164-9800  
olga\_snezhko@karpinskyinstitute.ru

### **Evgeniy A. Kovalenko**

Head, Department of Software and Hardware Support,  
Centre of Informational Technologies  
on Regional Geology and Metallogeny

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

kiji@karpinskyinstitute.ru

---

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
**Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 13.12.2024  
Одобрена после рецензирования 25.12.2024  
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 13.12.2024  
Approved after reviewing 25.12.2024  
Accepted for publication 28.12.2024

Научная статья

УДК 551.24:528(470+26)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_36-58

**Ключевые слова:** земная кора, консолидированная земная кора, кристаллическая земная кора, акустический фундамент, осадочный чехол, промежуточный структурный этаж

**Для цитирования:** Комплект карт глубинного строения территории Российской Федерации и ее континентального шельфа / Е. Д. Мильштейн [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 36–58. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_36-58](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_36-58)

Original article

UDC 551.24:528(470+26)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_36-58

**Keywords:** Earth's crust, consolidated Earth's crust, crystalline Earth's crust, acoustic basement, sedimentary cover, metasedimentary complex

**For citation:** Deep structure maps of the Russian Federation and its continental shelf / E. D. Milshteyn [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024;31 (4):36–58. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_36-58](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_36-58)



© Е. Д. Мильштейн, Е. А. Андросов,  
С. Н. Кашубин, И. В. Кудрявцев, 2024

## Комплект карт глубинного строения территории Российской Федерации и ее континентального шельфа

Е. Д. Мильштейн, Е. А. Андросов,  
С. Н. Кашубин, И. В. Кудрявцев✉

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,  
[Ivan\\_Kudryavtsev@karpinskyinstitute.ru](mailto:Ivan_Kudryavtsev@karpinskyinstitute.ru)✉

**Аннотация.** В статье приводятся результаты обобщения глубинных геофизических исследований земной коры территории России и ее континентального шельфа в виде цифрового комплекта карт, содержащего карты мощности земной коры, мощности осадочного чехла, а также рельефа разновозрастного фундамента и его районирования на основе комплексного анализа аномальных потенциальных полей. Показаны возможности использования карт глубинного строения для геотектонических построений на примере Сибирского кратона и его складчатого обрамления. Представленный комплект карт оформлен как цифровой информационный ресурс (ГИС-проект), размещен на сайте ФГБУ «Институт Карпинского» и может служить основой для создания новых мелкомасштабных карт геологического содержания в рамках сводного и обзорного картографирования территории России и ее континентального шельфа.

## Deep structure maps of the Russian Federation and its continental shelf

E. D. Milshteyn, E. A. Androsov,  
S. N. Kashubin, I. V. Kudryavtsev✉

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia, [Ivan\\_Kudryavtsev@karpinskyinstitute.ru](mailto:Ivan_Kudryavtsev@karpinskyinstitute.ru)✉

**Abstract.** The paper summarizes the Earth's crust deep geophysical studies within the Russian territory and its continental shelf; the findings include a digital maps set containing the Earth's crust thickness map, sediments thickness map, as well as diachronous basement topographic map and basement area map by anomalous potential fields datasets. Deep structure maps are applicable for creating geotectonic maps, with the Siberian Craton and adjacent folded areas exemplified. The Karpinsky Institute's website locates the maps set designed as a digital information resource (GIS project); it can support the creation of new small-scale geological maps within the integrated and review mapping of the Russian Federation territory and its continental shelf.



## ВВЕДЕНИЕ

Геолого-геофизические исследования земной коры на всю ее мощность по протяженным профилям-геотранверсам выполняются во всем мире и являются основным общепризнанным источником информации о глубинном строении недр. Результаты этих наблюдений формируют современные представления о связи глубинных и поверхностных геологических структур и непосредственно влияют на развитие фундаментальных представлений об эволюции земной коры [1; 2]. В России эти исследования носят системный характер. Первые наблюдения по отдельным профилям по методике глубинных сейсмических зондирований (далее — ГСЗ) были начаты на территории бывшего СССР в 1950–1960 гг. В период с 1972 по 1994 г. эти исследования выполнялись в том числе с регистрацией мирных ядерных взрывов и охватили почти всю страну по профилям общей протяженностью более 70 тыс. пог. км [3]. С 1995 г. работы по созданию Государственной сети опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин носят комплексный характер (наблюдения на профилях включают сейсмические методы ГСЗ, метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки (далее — МОВ-ОГТ) и магнитотеллурические зондирования) и выполняются в первую очередь

в районах, не охваченных ранее глубинными исследованиями: на Северо-Востоке России и прилегающих акваториях [4; 5] (рис. 1).

По мере расширения сети профилей ГСЗ стали предприниматься попытки создания на их основе карт, отражающих особенности глубинного строения территории страны. Первые карты рельефа поверхности Мохоровичича, мощности осадочного чехла и различных структурных и скоростных характеристик земной коры были построены в 1980–1990 гг. [6–8]. За последние десятилетия, как при создании Государственной сети опорных геолого-геофизических профилей, так и при создании комплектов карт ГК-1000/3, был накоплен большой объем данных по мощности земной коры и строению осадочного чехла [9], были составлены цифровые карты потенциальных полей для всей территории страны. Комплекты карт глубинного строения, включающие карты мощности земной коры, мощности осадочного чехла и типов земной коры, создавались также в рамках международных проектов на Циркумполярную Арктику, Северо-Восточную и Центральную Азию [10–12]. Однако по территории России, включая акватории в рамках внешних границ исключительных экономических зон, единый комплект карт глубинного строения до последнего времени не был составлен, в том числе из-за разного понимания одних и тех же терминов,

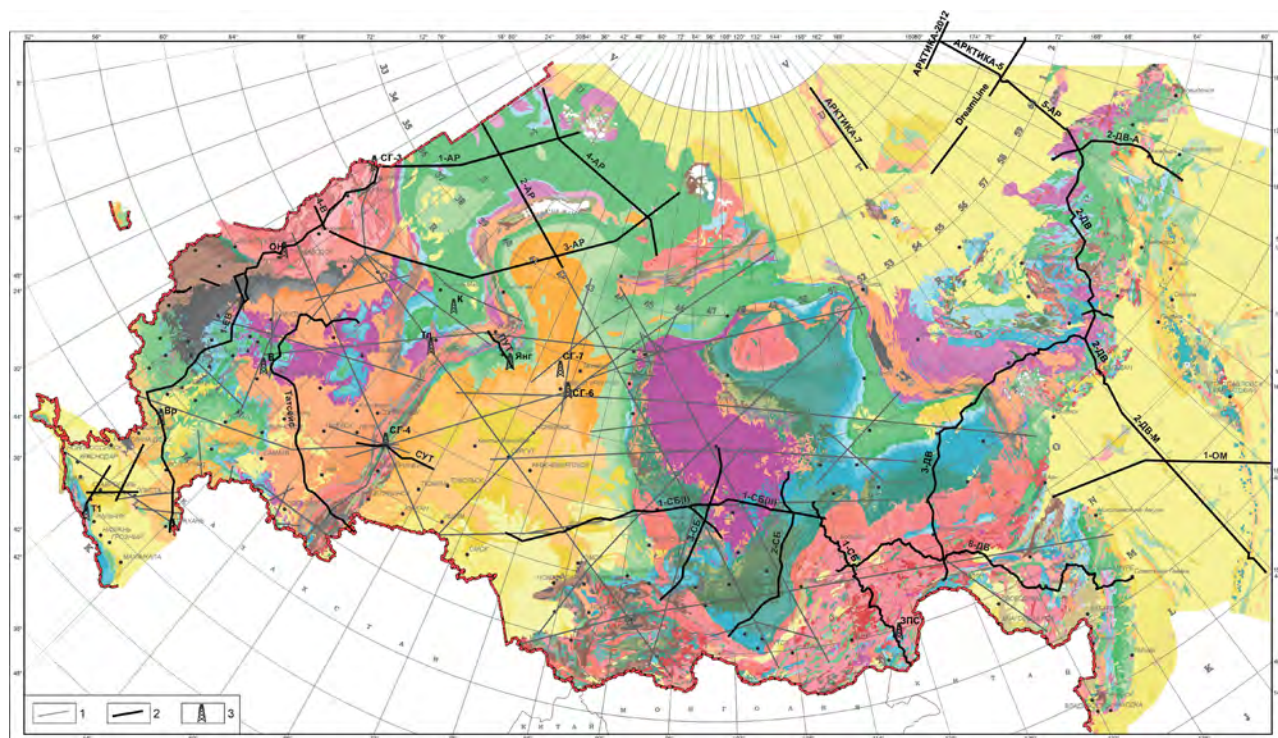


Рис. 1. Схема расположения опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин (по состоянию на декабрь 2021 г.)

1 — глубинные геофизические профили, выполненные многоволновой сейсморазведкой до 1995 г., 2 — опорные комплексные геолого-геофизические профили, выполненные в 1995–2021 гг. и их индексы, 3 — сверхглубокие и параметрические скважины

Fig. 1. Geotranssects, parametric and superdeep boreholes map (as of December 2021)

1 — geotranssects with multiwave seismic exploration before 1995, 2 — geotranssects in 1995–2021 and their indexes, 3 — parametric and superdeep boreholes

используемых и при картировании, и при описании глубинного строения.

В настоящей статье авторы дают определения основных терминов и понятий, используемых при описании глубинного строения, чтобы в дальнейшем избежать неоднозначности при геологической интерпретации; приводят краткие сведения об исходных данных, методике составления карт и их содержании; возможности их использования при тектонических построениях (на примере Сибирского кратона) и в завершение представляют информационный ресурс созданного комплекта карт глубинного строения [https://wega.vsegei.ru/site/gisatlas], который может быть успешно использован как при геологической интерпретации сводных мелкомасштабных карт, так и листов ГК-1000/3.

**Основные термины и понятия.** Обобщенная модель земной коры и осредненные физические параметры ее основных слоев (рис. 2) в совокупности с определением терминов [13–15], используемых при ее описании (табл. 1), позволяют сблизить понятийную базу, используемую при геологическом картировании поверхности и изучении глубинного строения.

Необходимо отметить, что кристаллическая кора на континентах, как правило, делится на верхнюю и нижнюю, в некоторых регионах в ее пределах выделяют также среднюю, а на границе земной коры и верхней мантии — переходный слой [1; 2].

Однако из-за того, что эти элементы в разрезах прослеживаются не повсеместно и не всегда надежно, при построении сводных карт на большие

| Основные границы |                               | Основные слои                  | Vp (км/с) | $\sigma$ (г/см <sup>3</sup> ) |
|------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|-------------------------------|
| Земная кора      | Осадки                        | Осадочный чехол                | 2.0 – 4.5 | 1.80 – 2.40                   |
|                  | Консолидированная земная кора | Промежуточный структурный этаж | 4.5 – 5.8 | 2.45 – 2.60                   |
|                  |                               | Кристаллическая кора           | 6.0 – 7.2 | 2.62 – 3.05                   |
| Мантия           | Граница М                     | Верхняя Мантия                 | 7.9 – 8.4 | 3.25 – 3.45                   |

Рис. 2. Обобщенная модель континентальной земной коры и осредненные физические свойства ее основных слоев

Fig. 2. Summary model of the Earth's continental crust and generalized physical properties of the crustal main layers

территории их не используют. Также не везде между осадочным чехлом и кристаллической корой выделяется промежуточный структурный этаж. В случае, когда он отсутствует, «фундамент» и «акустический фундамент» совпадают. При обобщении информации о мощности осадочного чехла в регионах, где выделяется промежуточный структурный этаж, иногда у геологов возникает вопрос, куда его относить — к низам осадочного бассейна (как это чаще всего

Таблица 1

### Основные термины и понятия

Table 1. Basic terms and concepts

| Термин                         | Определение                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Акустический фундамент         | Сейсмический горизонт, ниже поверхности которого не регистрируются (либо проявлены крайне слабо) регулярные протяженные отраженные сейсмические волны                                                                                               |
| Граница Мохоровичича           | Сейсмическая граница, названная в честь выявившего ее сербского сейсмолога А. Мохоровичича, характеризующаяся скачкообразным увеличением скоростей продольных сейсмических волн от 6,8–7,2 до 7,9–8,2 км/с и отождествляемая с подошвой земной коры |
| Земная кора                    | Верхняя оболочка твердой Земли, выделяемая на основании различных критериев, включающих сейсмические скорости, плотность и состав                                                                                                                   |
| Консолидированная земная кора  | Толща земной коры за вычетом осадочного чехла                                                                                                                                                                                                       |
| Кристаллическая земная кора    | Нерасчлененный комплекс метаморфических и интрузивных горных пород, залегающий между фундаментом и подошвой земной коры                                                                                                                             |
| Мантия                         | Оболочка твердой Земли, расположенная между земной корой и ядром Земли                                                                                                                                                                              |
| Осадочный чехол                | Комплекс осадочных, неметаморфизованных горных пород, пологозалегающих в виде сплошного покрова на более консолидированном основании                                                                                                                |
| Промежуточный структурный этаж | Комплекс дислоцированных и/или слабометаморфизованных осадочных и вулканогенно-осадочных пород, отделенных от осадочного чехла региональным несогласием                                                                                             |
| Фундамент                      | Жесткое основание платформы или осадочного бассейна, поверхность кристаллической земной коры, консолидированной в эпоху, предшествующую осадконакоплению                                                                                            |

делается, например, в Западной Сибири, где с этим этажом связывают перспективы нефтегазоносности) или считать его принадлежностью кристаллической коры. Ответ на этот вопрос дает рис. 2, на котором показано, чем отличаются понятия «кристаллическая» и «консолидированная» кора.

Для региональных обобщений целесообразно использовать повсеместно выделяемые на глубинных сейсмических разрезах главные разделы сред — подошву земной коры (Граница Мохоровичича (далее — Граница М)) и подошву осадочного чехла. Сейсмические данные в совокупности с данными рельефа и поля силы тяжести позволяют построить площадное распределение (карты) этих границ — глубину залегания подошвы земной коры (Границы М) и осадочного чехла (рельеф разновозрастного фундамента). Производными этих карт являются карты мощности: земной коры, осадочного чехла и консолидированной земной коры.

**Граница М и мощность земной коры.** Граница М, рассматриваемая как принципиальный раздел двух сред — земной коры и верхней мантии, является основным объектом картирования при глубинных исследованиях [16]. Именно положение этой границы определяет деление на два принципиальных различных типа — океаническую и континентальную коры. Оценка положения Границы М основывается в первую очередь на данных ГСЗ, и обеспеченность территории этими данными определяет масштаб всего комплекта карт глубинного строения. Мощность земной коры — производная карты глубины Границы М — является одним из основных параметров при выделении широкого спектра типов земной коры [17; 18].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

**Карта глубины Границы Мохоровичича.** Общий объем профильных и точечных данных ГСЗ, которые были использованы для построения карты рельефа Границы М России, составляет порядка 150 тыс. пог. км. Размещение профилей по площади не равномерное: расстояние между глубинными сейсмическими профилями меняется от 150 до 1500 км. Если принять за достоверные данные полосу вдоль профиля шириной 80 км, то мы получим следующую картину (рис. 3). На территории Европейской части России, Западной и Восточной Сибири площади, охваченные глубинными сейсмическими исследованиями, достигают 45–50 %. Территория Дальнего Востока освещена на 13 %, а прилегающие акватории Северного Ледовитого и Тихого океанов на 16 и 30 % соответственно.

Это свидетельствует о том, что построение даже мелкомасштабной современной цифровой карты (сеточной модели) рельефа Границы М без привлечения дополнительных данных не представляется возможным. Для решения этой проблемы помимо сейсмических данных были использованы многомерные корреляционные зависимости между глубиной Границы М, осредненными значениями аномалий

поля силы тяжести и рельефом дневной поверхности (дна акваторий), созданные ранее [9].

Построение карты рельефа Границы М включало три основных этапа. Первый этап — расширение (дополнение) ранее созданной [8; 18; 19] базы сейсмических данных по глубинным профилям общей протяженностью более 8 тыс. пог. км. Второй этап — заполнение межпрофильного пространства на основе многомерных корреляционных зависимостей по оценке глубины Границы М [19]. Третий этап — построение предварительной сеточной модели (шаг  $5 \times 5$  км) с последующей корректировкой по результатам сравнения (рис. 4) с сейсмическими данными по профилям.

С учетом погрешностей определения глубины Границы М по сейсмическим данным и корреляционным уравнениям, а также исходя из детальности исходных данных, корректная визуализация итоговой карты соответствует масштабу 1 : 10 000 000 с шагом основных изогипс 4 км и дополнительных 2 км (рис. 5, а). Карта мощности земной коры (рис. 5, б) представляет собой разность сеточных моделей высот рельефа суши, дна акваторий и глубины Границы М и сохраняет параметры визуализации карты рельефа Границы М: шаг основных изогипс — 4 км, дополнительных — 2 км.

Мощность земной коры территории России и сопредельных акваторий изменяется в широких пределах — от 6 до 60 км. Распределение мощности земной коры имеет сложное мозаичное строение, что не мешает выявить некоторые региональные закономерности. Основной тенденцией, которая уже отмечалась многими исследователями для континентов, является сокращение мощности земной коры в сторону океанов и утолщение ее под горными сооружениями. При этом переход от суши в направлении морей пассивной континентальной окраины Северного Ледовитого океана достаточно плавный и средний перепад мощности коры составляет порядка 4 км. Линейный характер областей пониженной мощности, наиболее яркими из которых являются Баренцевоморская, Лаптевоморская системы, свидетельствует, что основным процессом преобразования континентальной коры являлся рифтогенез. Противоположный характер наблюдается в отношении восточных морей, где переход суша–море фиксируется градиентной зоной с амплитудой 10 км и выше, а снижение мощности коры в задуговых бассейнах относительно берега составляет более 20–24 км.

В пределах суши выделяются четыре крупные субизометричные области: Европейская, Западно-Сибирская, Восточно-Сибирская и Северо-Восточная. Наиболее узкий диапазон изменения мощности коры (порядка 10 км) характерен для Западно-Сибирской области, в то время как в трех других он возрастает практически в 2 раза (порядка 20 км).

**Рельеф разновозрастного фундамента и мощность осадочного чехла.** Осадочный чехол уверенно отождествляется на сейсмических разрезах по характеру сейсмической записи и по значениям скоростей упругих волн, поэтому сейсмические методы играют ведущую роль при изучении осадочного



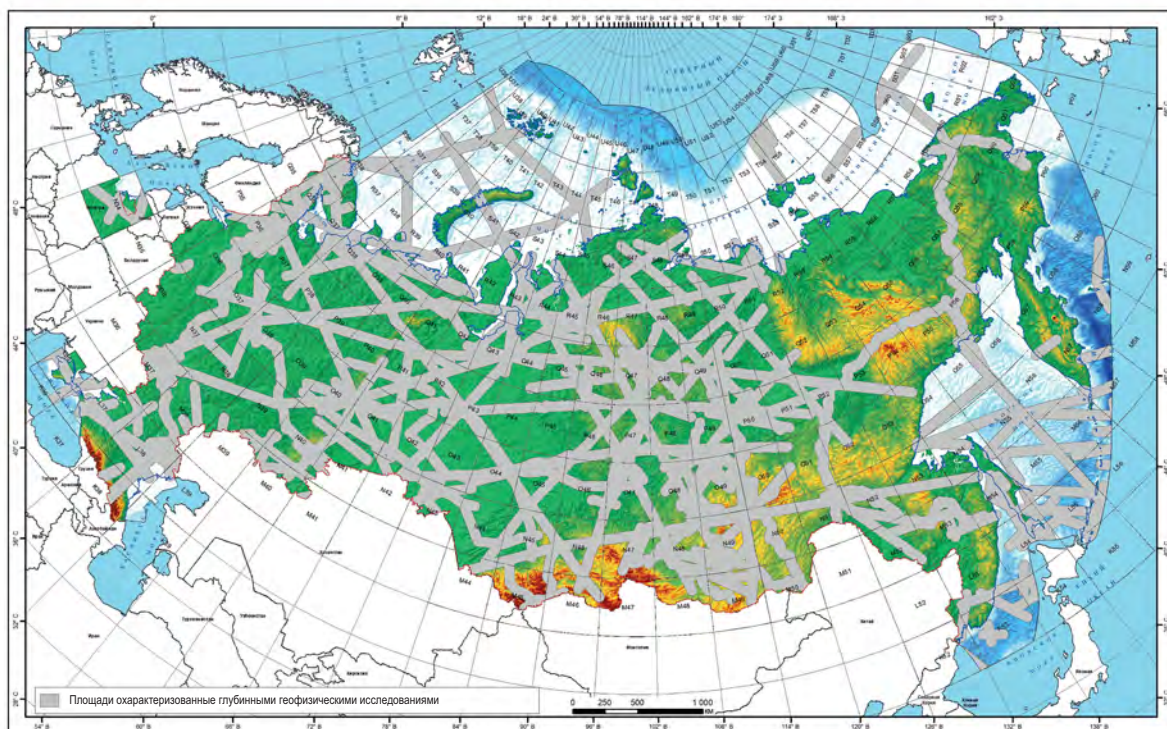


Рис. 3. Обеспеченность карты мощности земной коры России глубинными сейсмическими исследованиями

Fig. 3. Spatial coverage of deep seismic sounding datasets in the Earth's crust thickness map

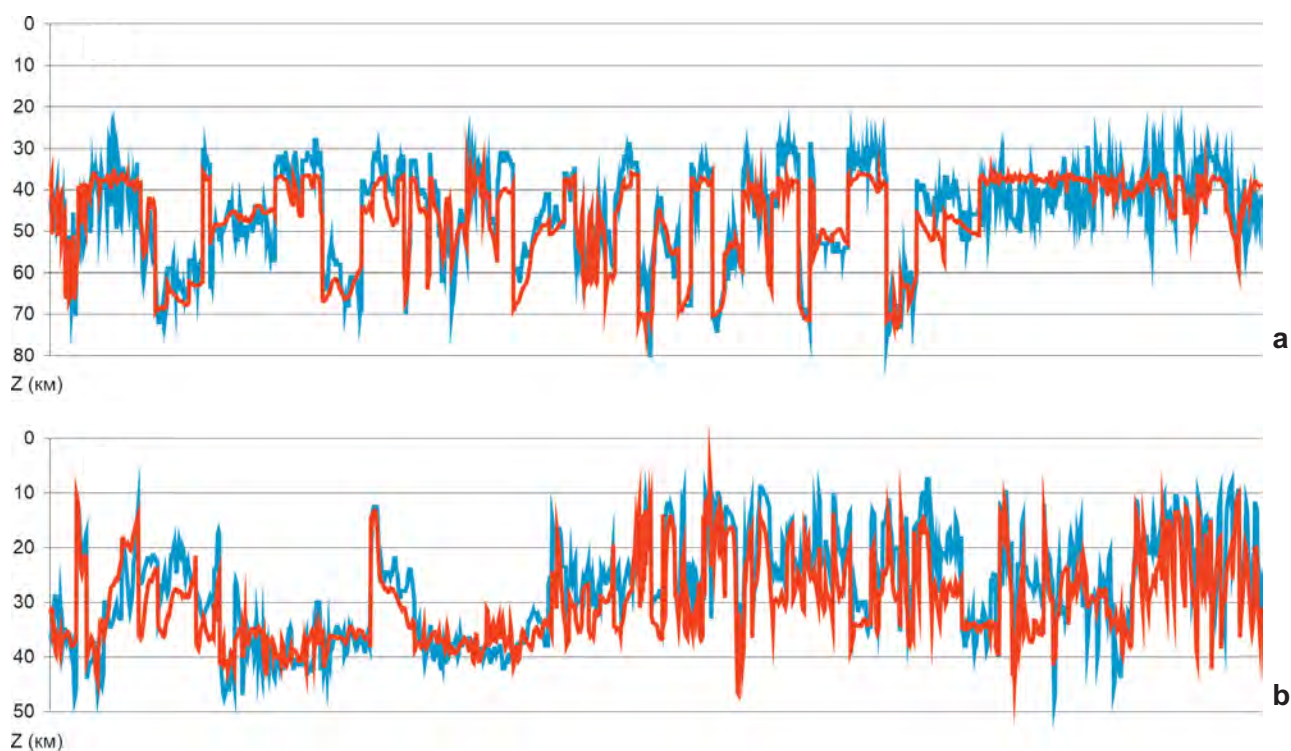


Рис. 4. Сравнение оценки положения глубины границы Мохоровичича по многомерным корреляционным зависимостям и сейсмическим данным

*a* — суша (3000 точек), *b* — море (1600 точек); голубой — сейсмические данные, красный — результат использования многомерных корреляционных зависимостей

Fig. 4. Comparison of Moho depth estimations by multivariate correlation dependencies and seismic data

*a* — onshore (3,000 estimation points), *b* — offshore (1,600 estimation points); blue — seismic data, red — estimations by multivariate correlation dependencies

чехла и, в первую очередь, это метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки. На сейсмических разрезах МОВ-ОГТ подошва осадочного чехла обычно фиксируется резкой сменой протяженных и субгоризонтально ориентированных осей синфазности (слоистая среда осадочного чехла) на штриховое, разноориентированное поле отражателей или полное прекращение регулярной сейсмической записи (высокогетерогенная консолидированная кора). Эта граница, индексируемая на разрезах МОВ-ОГТ как акустический фундамент, обычно совпадает со скоростной границей первого рода, выделяемой при наблюдениях методом преломленных волн (далее — МПВ), и соответствует резкому повышению скоростей продольных волн от значений меньших 3,5–4,0 до 5,0 км/с и выше. Как правило, по этим признакам и строится подошва осадочного чехла (поверхность фундамента) по сейсмическим данным.

Изученность территории сейсмическими методами крайне неравномерна. Основной объем сейсмических исследований МОВ-ОГТ сосредоточен в пределах нефтегазоносных провинций, где он превышает сотни тысяч погонных километров. В последнее десятилетие, в том числе в связи с работами по обоснованию границ расширенного континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане, значительно повысилась изученность этого региона. В Дальневосточной части наиболее полно изучены акватории Охотского и Японского морей и значительно менее — Берингова моря. Для всех нефтегазоносных и потенциально нефтегазоносных областей выполнены обобщения сейсмических данных в виде средне-мелкомасштабных аналоговых структурных карт. Значительный объем информации в виде цифровых карт был получен при создании ГК-1000/3 (97 номенклатурных листов). На протяжении многих лет создавались аналоговые (реже цифровые) карты рельефа разновозрастного фундамента по надрегиональным структурам, таким как Восточно-Европейская и Сибирская платформы, Западно-Сибирская плита [20; 21]. В последнее десятилетие, в рамках двух международных проектов, были созданы сеточные модели мелкомасштабных карт по Циркумполярной области, Северной, Центральной и Восточной Азии [10–12]. Все эти материалы были положены в основу компилятивной карты рельефа разновозрастного фундамента.

**Карта рельефа фундамента.** Разнородность базовых материалов по созданию компиляционной карты рельефа разновозрастного фундамента определила трехэтапность ее формирования.

На первом этапе был сформирован единый цифровой массив изогипс разновозрастного фундамента: преобразование аналоговых карт в цифровые, приведение всех материалов к единой системе координат. Второй этап, наиболее важный и трудоемкий — увязка ранее полученных материалов в областях сочленения. За базовые были приняты фрагменты карт международных проектов, охватывающие территорию России и сопредельные акватории. Этот массив данных уточнялся на основе

детальных построений по отдельным регионам, включая соответствующие материалы комплектов ГК-1000/3. При увязке и редактировании приоритет отдавался более новой и детальной информации, также учитывались особенности геологического строения и характер потенциальных полей. Заключительный, третий этап — создание сеточной модели карты с шагом 5 × 5 км.

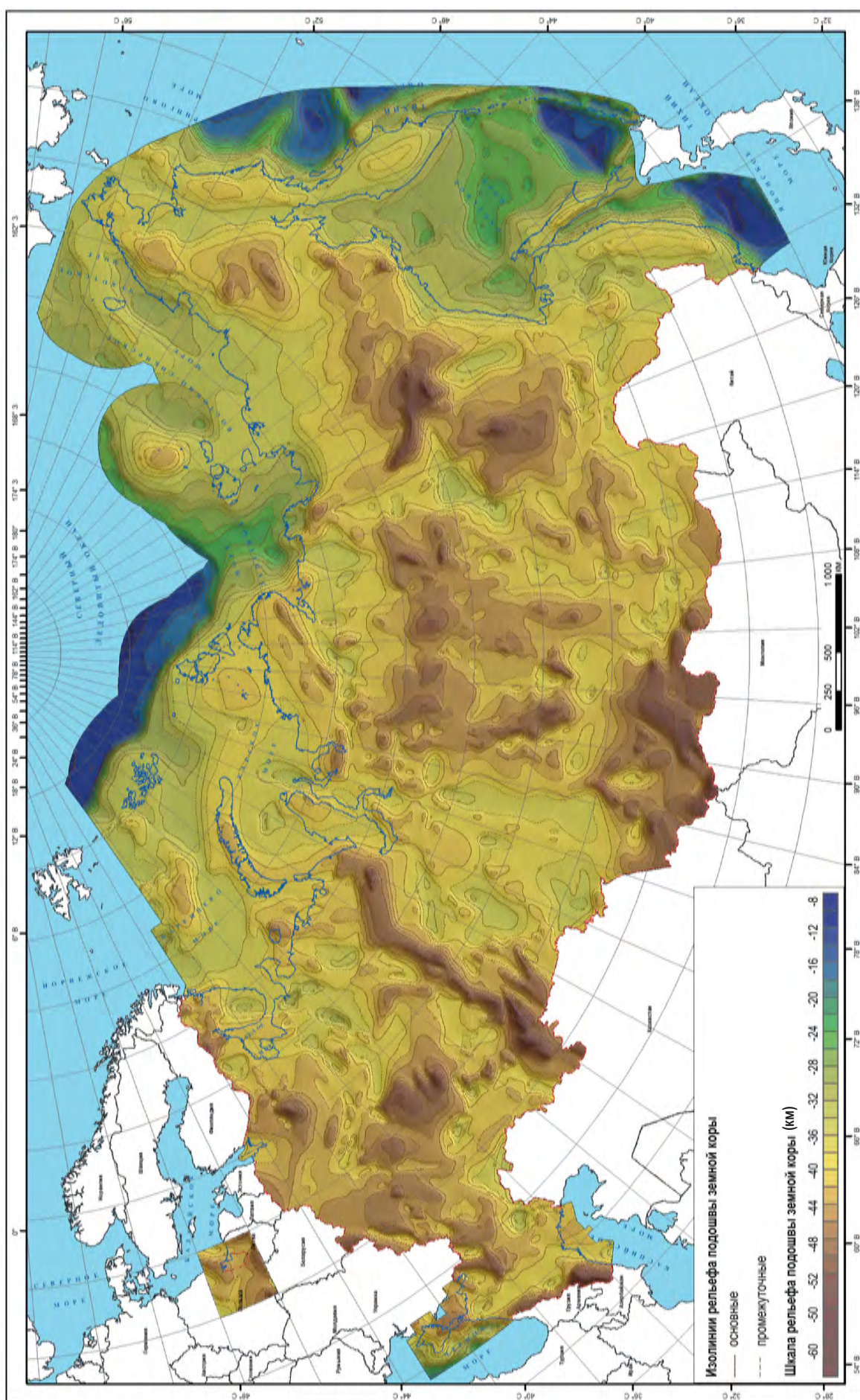
Наибольшие проблемы в увязке данных были в регионах: в области сочленения Сибирской платформы с Западно-Сибирской плитой и Енисейско-Хатангском мегапрогибе. Для решения данной проблемы в анализ были включены сейсмические разрезы по данным МОВ-ОГТ и ГСЗ (Южсибгеоис-1 и Батолит-1-СБ-2006, «Метеорит» и др.). В результате анализа ниже подошвы мезозойского чехла по характеру структуры волнового поля МОВ-ОГТ и скоростным параметрам (ГСЗ) были выделены пачки, характерные для домезозойского чехла Сибирской платформы, которые были включены в общий объем осадочного чехла Западно-Сибирской плиты и Енисейско-Хатангского мегапрогиба в зоне их сочленения с Сибирской плитой.

Несмотря на большой объем сейсмических данных и данных бурения, высокую детальность используемых материалов по отдельным регионам, сводная карта рельефа разновозрастного фундамента как элемент комплекта представлена в масштабе 1 : 10 000 000 с шагом основных изогипс 1 км и дополнительных 0,5 км (рис. 6, *a*). Карта мощности осадочного чехла (рис. 6, *b*) является производной и создана путем вычитания сеточной модели рельефа разновозрастного фундамента из сеточной модели современного рельефа (включая батиметрические данные по акваториям) и сохраняет параметры визуализации исходной карты. Цветовая шкала карт (от желтого к рыжему) отражает, соответственно, погружение фундамента и увеличение мощности осадочного чехла; области отсутствия осадочного чехла отмечены серым тоном («псевдорельеф»).

Мощность осадочного чехла изменяется в существенных пределах — от 0 до 24 км. На суше нулевые значения соответствуют щитам древних платформ и фанерозойским орогенным областям (поясам). Наиболее обширные области последних сосредоточены на Северо-Востоке России. Прилегающие акватории характеризуются резко повышенной до аномально высокой мощностью осадочного чехла.

Три крупнейшие структуры территории России — древние Восточно-Европейская, Сибирская платформы и разделяющая их молодая Западно-Сибирская плита — принципиально различаются характером распределения мощности осадочного чехла. Восточно-Европейская платформа в целом характеризуется маломощным осадочным чехлом (менее 3 км), на фоне которого выделяются системы относительно узких грабенов, в которых мощность достигает 6–7 км (Мезенская синеклиза и линейные прогибы по периферии Тимано-Печорской плиты). Аномальная мощность осадков фиксируется в Прикаспийской впадине (до 24 км) и Предуральском краевом прогибе (10–13 км). Для Сибирской платформы характерны крупные структуры с мощным







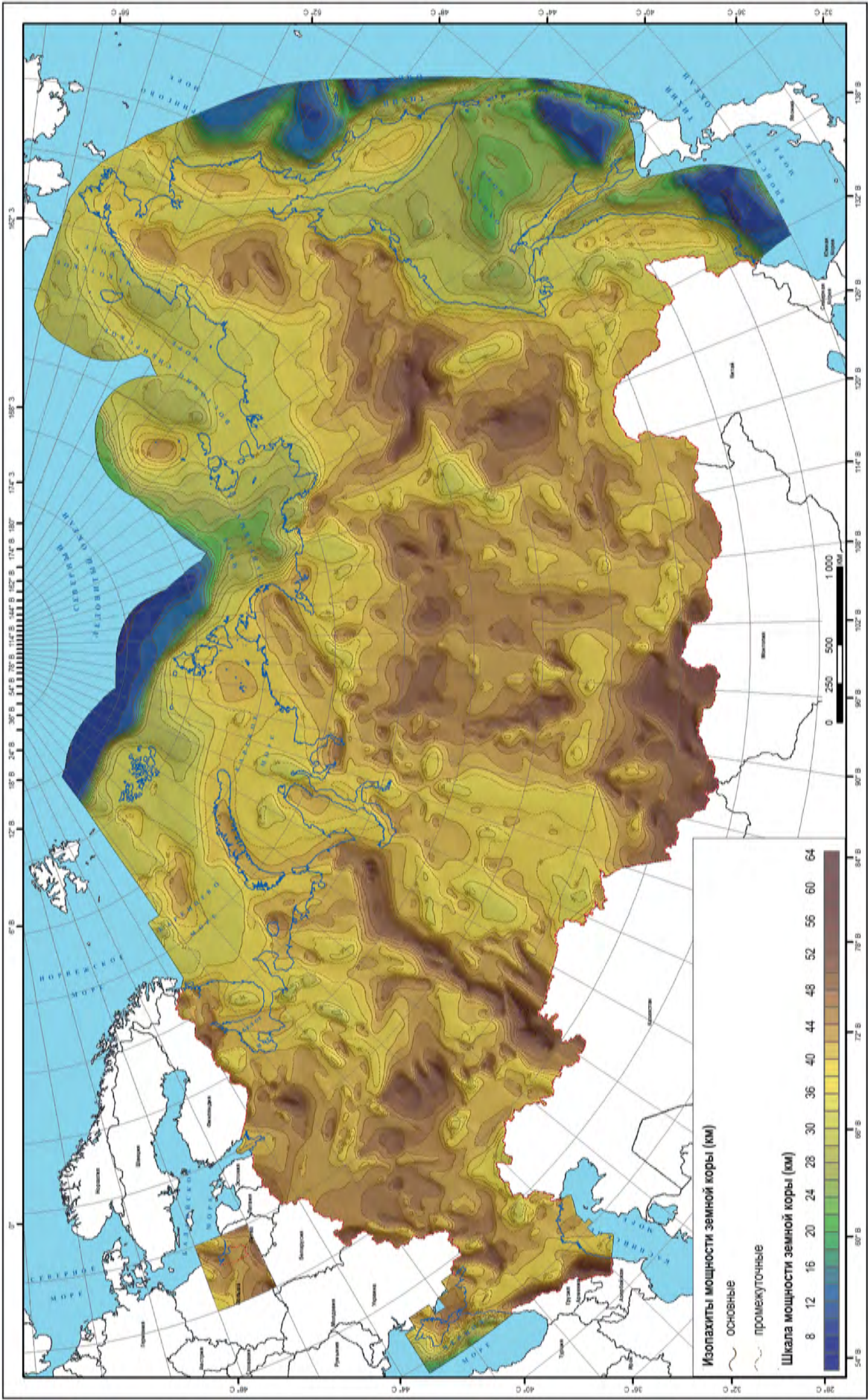
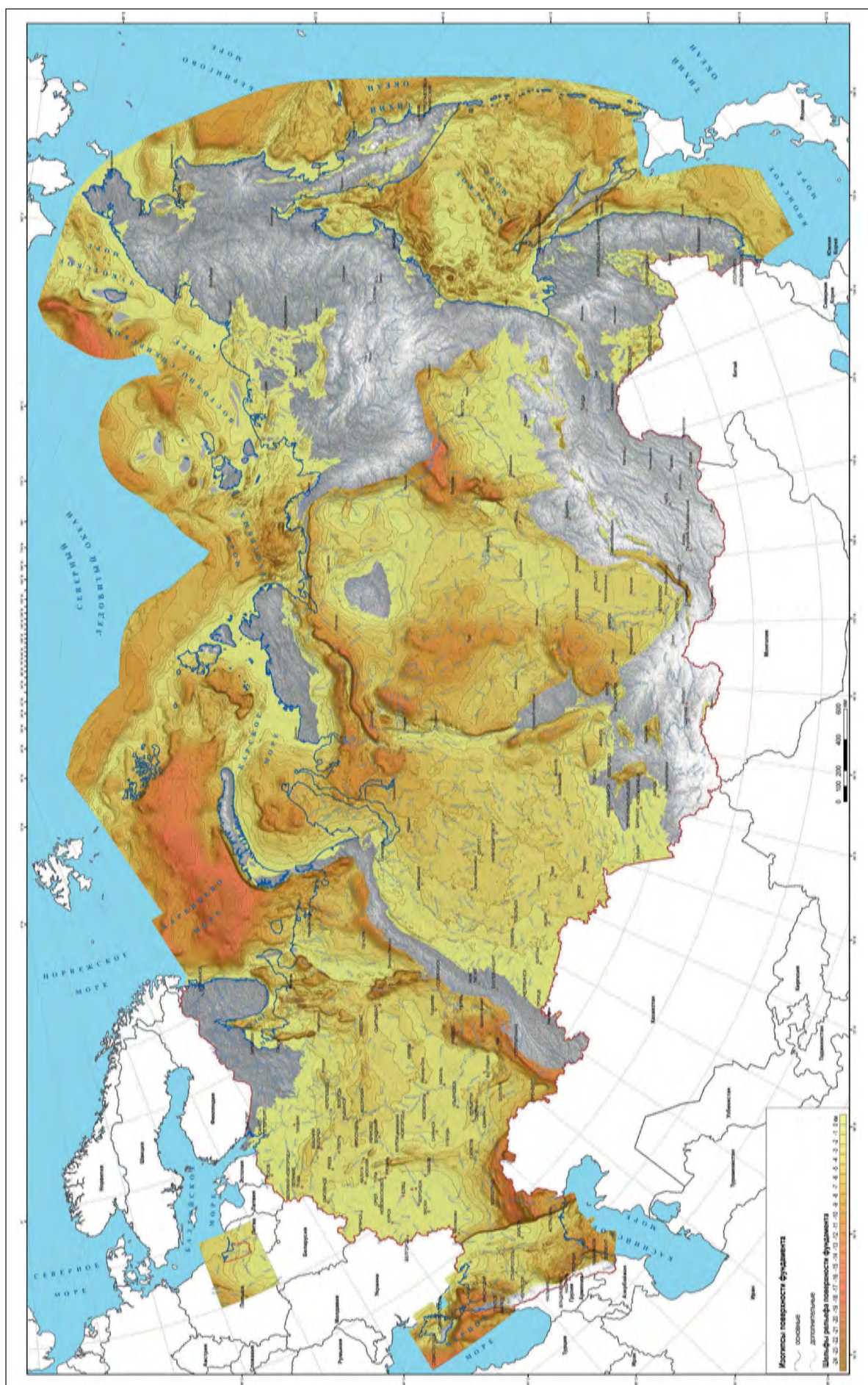


Рис. 5. Карты: *a* — глубины залегания границы Мохоровичича (подшвы земной коры), *b* — мощности земной коры (Russia and adjacent water areas)  
Fig. 5. *a* — Moho depth map (bottom of the Earth's crust), *b* — Earth's crust thickness map (Russia and adjacent water areas)





а



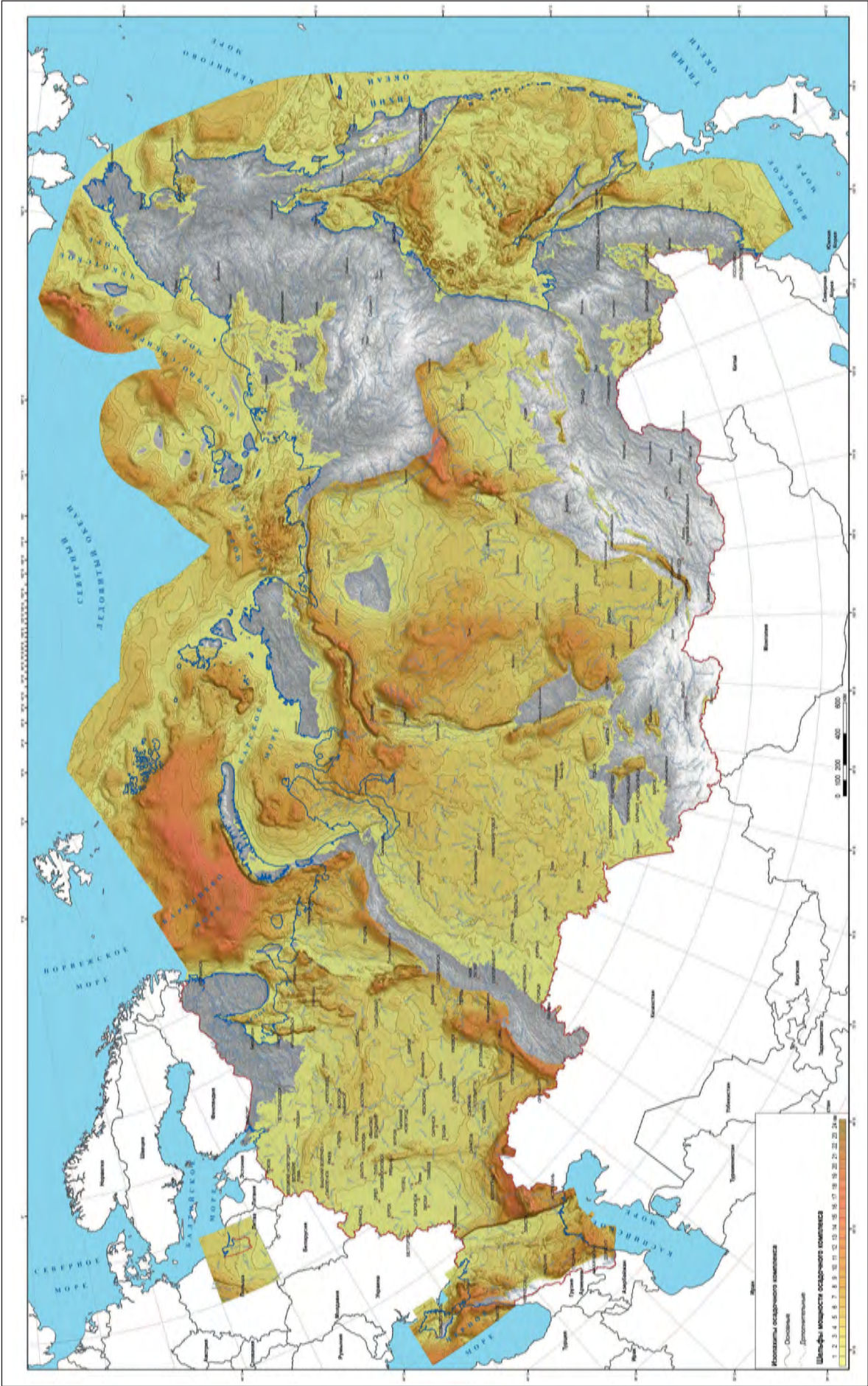


Рис. 6. Карты: *a* — рельефа разновозрастного фундамента, *b* — мощности осадочного чехла  
Fig. 6. *a* — Diachronous basement topographic map, *b* — sediments thickness map

**b**



осадочным чехлом: Вилуюнская, Тунгусская, При-саяно-Енисейская синеклизы, Енисей-Хатангский мегапрогиб и Приверхоянский краевой прогиб, где мощность осадков достигает 10–15 км. Относительно небольшие мощности (менее 2–4 км) характерны для Западно-Сибирской плиты, при плавном увеличении до 6 км в северо-восточном направлении, где при приближении к Енисейско-Хатангскому мегапрогибу они резко возрастают, достигая 10–13 км.

Существенно отличается осадочный чехол морей Северного Ледовитого океана и восточных морей. В первом отмечается целый ряд крупных бассейнов (Южно-Карский, Северо-Карский, Лаптевоморский) с мощностью осадочного чехла более 8–10 км и крупнейший субмеридиональный Баренцевоморский бассейн, в котором средняя мощность превышает 8 км и достигает 20 км. Структуру осадочного чехла восточных морей в основном можно охарактеризовать как «мелко мозаичную» — множество относительно локальных впадин с мощностью 3–5 км и несколько относительно крупных бассейнов с мощностью, не превышающей 8–10 км.

**Мощность консолидированной земной коры.** Сеточная модель (5 × 5 км) карты мощности консолидированной земной коры (рис. 2 и табл. 1) является разностью между сеточными моделями мощности земной коры и осадочного чехла. В цифровом виде карта представлена в масштабе 1 : 10 000 000 с шагом изопахит 4 км (рис. 7).

**Схема районирования разновозрастного фундамента.** При современных геодинамических построениях необходимо учитывать не только районирование поверхностных структур, но и информацию о строении всей земной коры [9; 11; 12; 22; 23]. Целевым назначением представленной схемы является выделение аномальных объектов трех рангов на уровне фундамента на основе анализа структурных особенностей поля силы тяжести и аномального магнитного поля  $\Delta T_a$  в совокупности с особенностями глубинного строения территории. Помимо того, что роль строения фундамента неоспорима в оценке истории развития любой тектонической структуры, выбор данного уровня земной коры позволяет соблюсти основополагающие принципы тектонического районирования «однородности описания» [24] как в отношении территорий, перекрытых осадочным чехлом (около 75 %), так и областей с выходом складчатого (кристаллического) фундамента на поверхность. Успешное решение аналогичных задач для крупных регионов убедительно демонстрируют работы предшественников как в акваториальной части, так и на суше [25; 26].

Использование сеточных моделей как потенциальных полей, так и основных разделов земной коры (рельеф фундамента и Границы М) позволило создать широкий спектр трансформаций, в первую очередь «геологическую редукцию» поля  $\Delta g$ , исключаящую влияние осадочного чехла и существенной неоднородности мощности земной коры. Помимо этого, при создании схемы был использован широкий спектр «традиционных» трансформант: спектральное разложение потенциальных полей, TILT преобразования [27], различные типы классификаций.

Схема районирования строилась на тех же принципах, что были использованы в предшествующих работах [28; 29] — принципы тектонического районирования, сформулированные Ю. А. Косыгиным [24]. Районирование рассматривалось как совокупность методов разграничения пространства (в том числе в 3D варианте) в соответствии с выбранной систематикой тел (ранговостью), при соблюдении правил полного без остатка деления этого пространства, без пересечения границ и индивидуальности характеристик выделяемых элементов [30].

При оконтуривании площадей была принята следующая система ранжирования (в порядке убывания): аномальная провинция, аномальная область, аномальный район. С тектоническими таксонами принятая система сопоставляется следующим образом. Аномальные провинции, как правило, соответствуют древним платформам, молодым плитам, складчатым областям. В то же время в объем провинции могут входить крупные разновозрастные тектонические структуры, представляющие единый ряд становления консолидированной коры. Аномальные области соответствуют региональным структурам второго порядка, объединенным общей зональностью потенциальных полей, с единым или близким возрастом консолидации земной коры. Аномальные районы — совокупность аномалий потенциальных полей, характеризующая внутреннюю зональность аномальной области и соответствующая структурам фундамента с уникальной историей развития (формирования, преобразования последующими эндогенными процессами и т. д.).

Надрегиональными границами являются границы, разделяющие континентальный и океанический типы коры. На границе Тихоокеанской плиты она имеет конвергентный характер и соответствует современной зоне субдукции [18; 30], в Северном Ледовитом океане — это красная линия, соответствующая границе двух типов коры, образованная при раскрытии Арктического бассейна Циркумполярной Арктики [10; 17] с некоторыми уточнениями в южной части.

Пограничные пояса, разделяющие аномальные провинции (в первую очередь на сухопутной части схемы), являются принципиально новым элементом районирования глубинного строения. Выделение этих линейных элементов, соответствующих по своей значимости и протяженности провинциям, обязано, в первую очередь, современным опорным геолого-геофизическим профилям Государственной сети. Выделено три типа поясов (см. рис. 8). Первый тип (Уральский и Верхоянский пояса) разделяет внутриконтинентальные аномальные провинции — Восточно-Европейскую и Западно-Сибирскую, Восточно-Сибирскую и Верхояно-Колымо-Чукотскую и характеризуется повышенной мощностью коры, в том числе с линзами коро-мантийной смеси. Пояса первого типа имеют субмеридиональное простираение. Второй тип (Чукотско-Амурский пояс) простирается вдоль побережья Тихого океана, отделяет Верхояно-Колымо-Чукотскую и Амурскую провинции от Берингово-Япономорской провинции и отличается надрегиональной зоной пониженной



Рис. 7. Карта мощности консолидированной земной коры  
Fig. 7. Consolidated Earth's crust thickness map



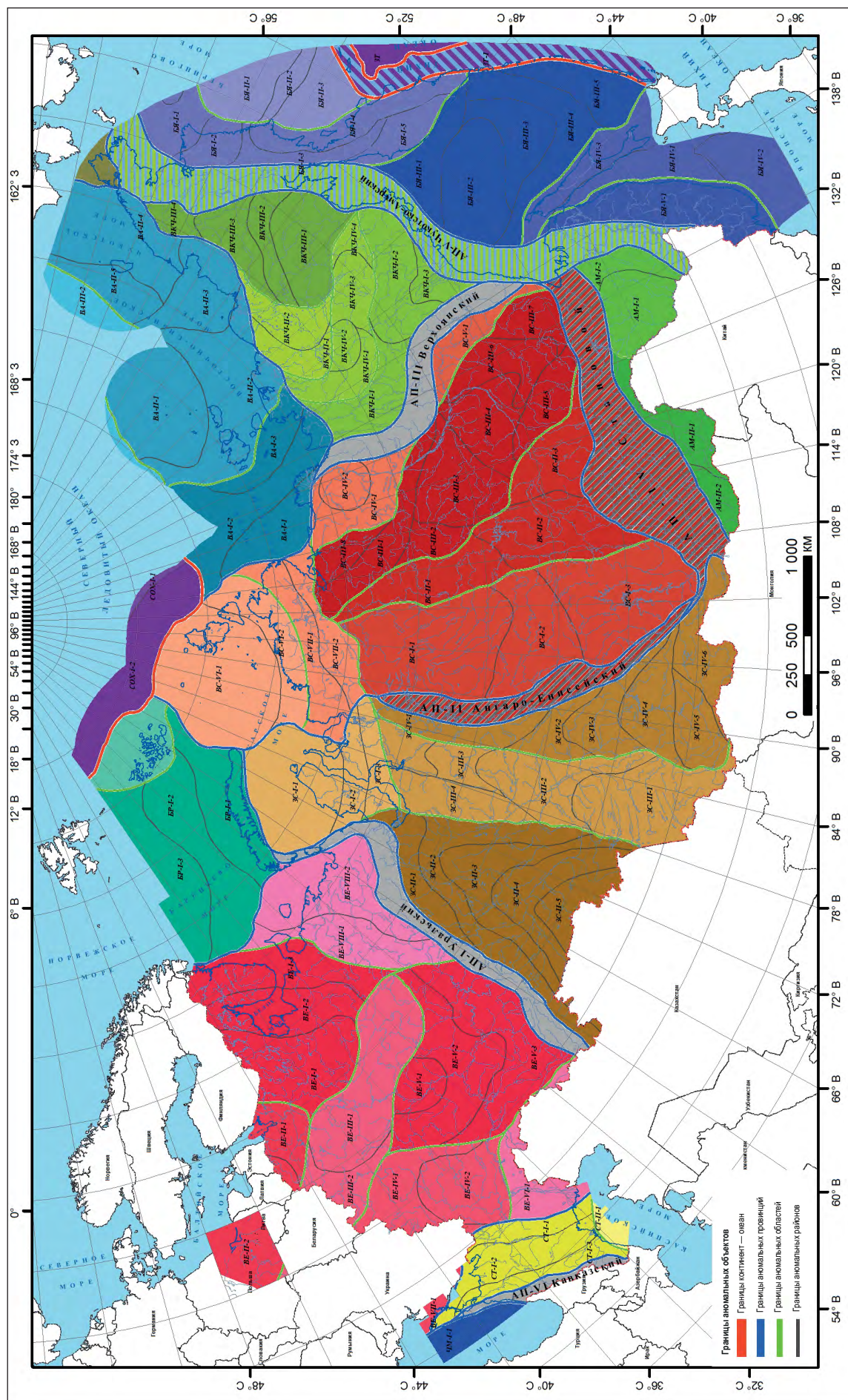


Рис. 8. Схема районирования фундамента на основе комплексного анализа потенциальных полей с учетом карт глубинного строения (список аномальных объектов — в табл. 2)  
Fig. 8. Basement area map by potential fields datasets, with deep structure maps included (refer to the list of anomalous objects in table 2)



мощности земной коры. Третий тип (Ангаро-Енисейский и Становой пояса) имеют сложное строение: на фоне преимущественно повышенной мощности земной коры выделяются участки пониженной мощности. Ангаро-Енисейский и Становой пояса являются пограничными между Сибирским кратоном и Центральнo-Азиатским подвижным поясом. Строение всех типов поясов изучено современными опорными геолого-геофизическими профилями.

Яркий образ поясов первого типа представлен двумя опорными профилями («Урсейс» и 3-ДВ) [31]. На глубинных геофизических разрезах отчетливо фиксируются области со специфическими характеристиками, постепенно погружающиеся на восток до глубины в 20 км. Глубинные данные позволяют с высокой степенью достоверности предполагать, что эти области являются краевыми зонами древних кратонов (Восточно-Европейского и Сибирского), погружающимися под смежные складчатые области на востоке. Фронт передовых надвигов сопредельных областей (Урало-Казахстанской и Верхояно-Колымской) молодых провинций (Западно-Сибирской и Верхояно-Колымо-Чукотской) фиксируется западнее проекции погруженного края кратонов на расстоянии до 150–200 км. В соответствии с этим выделены и оконтурены пояса первого типа: западная граница — фронт передовых надвигов, восточная — проекция погруженного края картонов.

Принципиально иной образ характерен для второго типа пограничных поясов: Чукотско-Амурский пояс представляет собой надрегиональную зону пониженной мощности консолидированной земной коры, которая разграничивает области с относительно повышенной мощностью. На севере пояс отчетливо фиксируется на геофизических разрезах опорного профиля 2-ДВ-А и разделяет Омолоно-Чукотскую и Корякско-Камчатскую области, на юге (профиль 8-ДВ) — Буреинскую и Сихотэ-Алинскую области, в центральной части сочленение между Верхояно-Колымской и Охотоморской областями представляет собой широкую зону градиентного понижения мощности земной коры между Верхояно-Колымо-Чукотской и Берингово-Япономорской провинциями, фиксируемую в зоне сочленения опорных профилей 2-ДВ и 2-ДВ-М [29]. Пояса в современной структуре занимают буферное положение между изометричными коллизионными областями континента с корой высокой мощности и линейными структурами переменной мощности обрамления Тихоокеанской плиты.

Наиболее сложное строение имеют пояса третьего типа (Ангаро-Енисейский и Становой). Относительно узкий Ангаро-Енисейский пограничный пояс, в целом характеризующийся повышенной мощностью коры, фиксируется, в первую очередь, серией профилей 2-го этапа (1972–1995 гг.) и единственным профилем современного этапа (1-СБ-2006), пересекающим Енисейский кряж. К сожалению, опорный профиль 1-СБ-2006, переобработка на современном уровне которого не осуществлена, не дает четкую структуру внутреннего строения пояса.

Становой пограничный пояс имеет ширину от 300 до 600 км, чем резко отличается от остальных

поясов. Внутренняя структура пояса фиксируется двумя современными профилями — 1-СБ-Восточным, пересекающим Аргунский массив, Селенгино-Становую СО и Байкальскую СО, и профилем 8-ДВ, пересекающим пояс в зоне сочленения Восточно-Сибирской и Амурской провинций и далее проходящим вдоль него на запад более 1000 км. Оба опорных профиля свидетельствуют о сложной внутренней структуре пояса, но в совокупности с анализом потенциальных полей однозначно фиксируют его обособленность относительно прилегающих аномальных провинций (Восточно-Сибирской и Амурской). Фактически, как будет показано ниже, данный пояс представляет собой коллаж областей (блоков кратонного типа) с повышенной мощностью коры, которые разделяются зонами смятия.

Цветовая гамма на схеме районирования (рис. 8) соответствует высшему рангу структур (аномальная провинция, пояс). Тональность провинций от темной к более светлой — предположительному «омоложению» возраста консолидации аномальных областей. На схеме указаны индексы аномальных районов, включающие название аномальной провинции (заглавные буквы), области (римские цифры) и района (арабские цифры), название структур всех рангов представлено в табл. 2. Погораничные пояса первого типа с четкой и относительно постоянной характеристикой внутреннего строения — серый цвет; штриховка поясов второго и третьего типов показывает влияние процессов, характерных для смежных с ними аномальных провинций.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Особенности глубинного строения аномальных провинций.** Сеточные модели комплекта карт глубинного строения в совокупности с векторной схемой районирования фундамента позволяют оценить их статистические параметры (рис. 9), определить (по косвенным признакам) корректность их выделения и сравнить между собой.

Две древнейшие аномальные провинции — Восточно-Европейская (далее — ВЕ) и Восточно-Сибирская (далее — ВС), возраст фундамента которых оценивается как архей-раннепротерозойский, значительно различаются внутренней зональностью и мощностью основных подразделений земной коры. Первая провинция включает 8 областей, вторая — 7 (рис. 8, табл. 2), большая часть которых представлена кристаллической корой, но в площадь провинций также входят области с двухэтажным строением фундамента, т. е. представленные консолидированной земной корой (рис. 2). Для Восточно-Европейской провинции, расположенной практически в пределах суши, двухэтажный фундамент характеризует Печорскую аномальную область (ВЕ-III). В пределах Восточно-Сибирской, захватывающей в том числе Таймыро-Североземельскую складчатую систему и Северо-Карскую (акваториальную) плиту, выделяются две аномальные области с двухэтажным фундаментом (BC-VI, BC-VII).



**Список аномальных объектов на схеме комплексного районирования потенциальных полей  
с учетом данных глубинного строения (рис. 8)**

Table 2. List of anomalous objects depicted on the basement area map by potential fields datasets, with deep structure maps included (Fig. 8)

| Название и индексация аномальных таксонов   | Название и индексация аномальных таксонов                   |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>ВЕ. Восточно-Европейская провинция</b>   | <b>ВКЧ. Верхояно-Колымо-Чукотская провинция</b>             |
| <b>ВЕ-I. Лапландско-Мезенская область</b>   | <b>ВКЧ-I. Верхояно-Колымская область</b>                    |
| ВЕ-I-1. Карельский район                    | ВКЧ-I-1. Адыча-Полоусный район                              |
| ВЕ-I-2. Беломорский район                   | ВКЧ-I-2. Оймяконский район                                  |
| ВЕ-I-3. Кольский район                      | ВКЧ-I-3. Охотский район                                     |
| <b>ВЕ-II. Прибалтийская область</b>         | <b>ВКЧ-II. Уяндинская область</b>                           |
| ВЕ-II-1. Ладожский район                    | ВКЧ-II-1. Восточно-Полоусненский район                      |
| ВЕ-II-2. Литовский район (фрагмент)         | ВКЧ-II-2. Центрально-Колымский район                        |
| <b>ВЕ-III. Смоленско-Московская область</b> | <b>ВКЧ-III. Омолоно-Чукотская область</b>                   |
| ВЕ-III-1. Ярославский район                 | ВКЧ-III-1. Омолонский район                                 |
| ВЕ-III-2. Смоленский район (фрагмент)       | ВКЧ-III-2. Олойский район                                   |
| <b>ВЕ-IV. Воронежская область</b>           | ВКЧ-III-3. Анюйский район                                   |
| ВЕ-IV-1. Окский район (фрагмент)            | ВКЧ-III-4. Пэкульнейский район                              |
| ВЕ-IV-2. Хоперский район                    | <b>ВКЧ-IV. Черско-Момская область</b>                       |
| <b>ВЕ-V. Волго-Уральская область</b>        | ВКЧ-IV-1. Туостакский район                                 |
| ВЕ-V-1. Средневожский район                 | ВКЧ-IV-2. Момский район                                     |
| ВЕ-V-2. Нижне-Камский район                 | ВКЧ-IV-3. Рассохинский район                                |
| ВЕ-V-3. Татарский район                     | ВКЧ-IV-4. Балыгычанский район                               |
| <b>ВЕ-VI. Прикаспийская область</b>         | <b>ЧА. Восточно-Чукотско-Аляскинская провинция (фрагм.)</b> |
| <b>ВЕ-VII. Украинская область (фрагм.)</b>  | <b>АМ. Амурская провинция (фрагм.)</b>                      |
| <b>ВЕ-VIII. Тимано-Печорская область</b>    | <b>АМ-I. Аргуно-Хинганская область</b>                      |
| ВЕ-VIII-1. Ижма-Печорский район             | АМ-I-1. Аргунский район                                     |
| ВЕ-VIII-2. Средне-Тиманский район           | АМ-I-2. Забайкальский район                                 |
| <b>ВС. Восточно-Сибирская провинция</b>     | <b>АМ-II. Буреинская область</b>                            |
| <b>ВС-I. Тунгусско-Ангарская область</b>    | АМ-II-1. Зейско-Буреинский район                            |
| ВС-I-1. Курейский район                     | АМ-II-2. Баджалский район                                   |
| ВС-I-2. Бахтинско-Подкаменный район         | <b>БМ. Баренцевоморская провинция</b>                       |
| ВС-I-3. Ангарский район                     | <b>БМ-I. Баренцевская область</b>                           |
| <b>ВС-II. Мамско-Вилуйская область</b>      | БМ-I-1. Новоземельский район                                |
| ВС-II-1. Вилуйский район                    | БМ-I-2. Центрально-Баренцевский район                       |
| ВС-II-2. Мирнинский район                   | БМ-I-3. Западно-Баренцевский район                          |
| ВС-II-3. Патомский район                    | <b>БМ-II. Область Земли Франца-Иосифа</b>                   |
| <b>ВС-III. Анабаро-Алданская область</b>    | <b>ВА. Восточно-Арктическая провинция</b>                   |
| ВС-III-1. Далдынский район                  | <b>ВА-I. Лаптевоморская область</b>                         |
| ВС-III-2. Айхальский район                  | ВА-I-1. Прибрежный район                                    |
| ВС-III-3. Мархинский район                  | ВА-I-2. Усть-Ленский район                                  |
| ВС-III-4. Нимнырский район                  | ВА-I-3. Святоносский район                                  |
| ВС-III-5. Сутамский район                   | <b>ВА-II. Новосибирско-Чукотская область</b>                |
| ВС-III-6. Алданский район                   | ВА-II-1. Район Де-Лонга                                     |
| ВС-III-7. Учурский район                    | ВА-II-2. Котельниковский район                              |
| ВС-III-8. Хапчангский район                 | ВА-II-3. Раучуанский район                                  |
| <b>ВС-IV. Биректинская область</b>          | ВА-II-4. Чукотскоморский район                              |
| ВС-IV-1. Усть-Оленёкский район              | ВА-II-5. Северо-Врангелевский район                         |
| ВС-IV-2. Экекитский район                   | <b>БЯ. Берингово-Япономорская провинция</b>                 |

| Название и индексация аномальных таксонов       | Название и индексация аномальных таксонов   |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>ВС-V. Тыринская область</b>                  | <b>БЯ-I. Корякско-Камчатская область</b>    |
| <b>ВС-VI. Таймыро-Северо-Карская область</b>    | БЯ-I-1. Наваринский район                   |
| ВС-VI-1. Северо-Земельский район                | БЯ-I-2. Северо-Корякский район              |
| ВС-VI-2. Северо-Таймырский район                | БЯ-I-3. Ветвейский район                    |
| <b>ВС-VII. Таймыро-Хатангская область</b>       | БЯ-I-4. Олюторско-Восточно-Камчатский район |
| ВС-VII-1. Таймырский район                      | БЯ-I-5. Западно-Камчатский район            |
| ВС-VII-2. Хатангский район                      | <b>БЯ-II. Беринговоморская область</b>      |
| <b>СТ. Скифско-Туранская провинция (фрагм.)</b> | БЯ-II-1. Алеутский район                    |
| <b>СТ-I. Скифская область</b>                   | БЯ-II-2. Ширшовский район                   |
| СТ-I-1. Район Вала Карпинского                  | БЯ-II-3. Командорский район                 |
| СТ-I-2. Ставропольский район                    | <b>БЯ-III. Охотоморская область</b>         |
| СТ-I-3. Кубанско-Терекский район                | БЯ-III-1. Северо-Охотский район             |
| <b>ЗС. Западно-Сибирская провинция</b>          | БЯ-III-2. Центрально-Охотский район         |
| <b>ЗС-I. Карско-Обская область</b>              | БЯ-III-3. Дерюгинский район                 |
| ЗС-I-1. Ямальский район                         | БЯ-III-4. Восточно-Охотский район           |
| ЗС-I-2. Гыданский район                         | БЯ-III-5. Южно-Охотский район               |
| ЗС-I-3. Тазовский район                         | <b>БЯ-IV. Сихотэ-Алинская область</b>       |
| <b>ЗС-II. Урало-Казахстанская область</b>       | <b>БЯ-V. Сахалино-Япономорская область</b>  |
| ЗС-II-1. Восточно-Уральский район               | БЯ-V-1. Северо-Япономорский район           |
| ЗС-II-2. Зауральский район                      | БЯ-V-2. Центрально-Япономорский район       |
| ЗС-II-3. Нижнеишимский район                    | БЯ-V-3. Сахалинский район                   |
| ЗС-II-4. Кокчетавский район                     | <b>АП. Аномальные пограничные пояса</b>     |
| <b>ЗС-III. Алтай-Западно-Сибирская область</b>  | АП-I. Уральский                             |
| ЗС-III-1. Рудноалтайско-Томский район           | АП-II. Ангаро-Енисейский                    |
| ЗС-III-2. Вах-Колпашевский район                | АП-III. Верхоянский                         |
| ЗС-III-3. Тазовский район                       | АП-IV. Становой                             |
| ЗС-III-4. Тарко-Салинский район                 | АП-V. Чукотско-Амурский                     |
| <b>ЗС-IV. Саяно-Приенисейская область</b>       | АП-VI. Кавказский                           |
| ЗС-IV-1. Приенисейский район                    | <b>Тихоокеанская зона субдукции</b>         |
| ЗС-IV-2. Сымский район                          |                                             |
| ЗС-IV-3. Чулымский район                        |                                             |
| ЗС-IV-4. Кузнецкий район                        |                                             |
| ЗС-IV-5. Западно-Саянский район                 |                                             |
| ЗС-IV-6. Восточно-Саянский район                |                                             |

При практически одинаковых диапазонах мощности осадочного чехла (~15 км) в ВС провинции площадь аномальных областей с мощностью осадочного чехла более 8–10 км составляет порядка 16 % при менее чем 10 % для ВЕ провинции (рис. 9, а). Аномально высокая мощность осадков (более 20 км) резко выделяет Прикаспийскую область в пределах ВЕ, однако, поскольку это незначительный фрагмент основной структуры (Прикаспийской впадины), существенный вклад в статистические глубинные параметры она не вносит.

Мощность земной коры ВС варьирует в более широких пределах по сравнению с ВЕ (рис. 9, б), при этом площадь аномальных областей, средняя мощ-

ность коры которых превосходит 44 км, практически одинакова (30 %), а объем областей с мощностью менее 36 км существенно отличается: в ВЕ — порядка 2 %, в ВС — порядка 9 % от общей площади провинций. Еще более значимые различия между двумя древнейшими аномальными провинциями демонстрирует гистограмма мощности консолидированной земной коры (рис. 9, с). Принципиально различна и внутренняя зональность (совокупность аномальных областей, районов) рассматриваемых аномальных провинций, которая является результатом анализа, в первую очередь, потенциальных полей и их трансформант.

Внутренняя зональность ВЕ коррелирует с ранее созданными схемами районирования



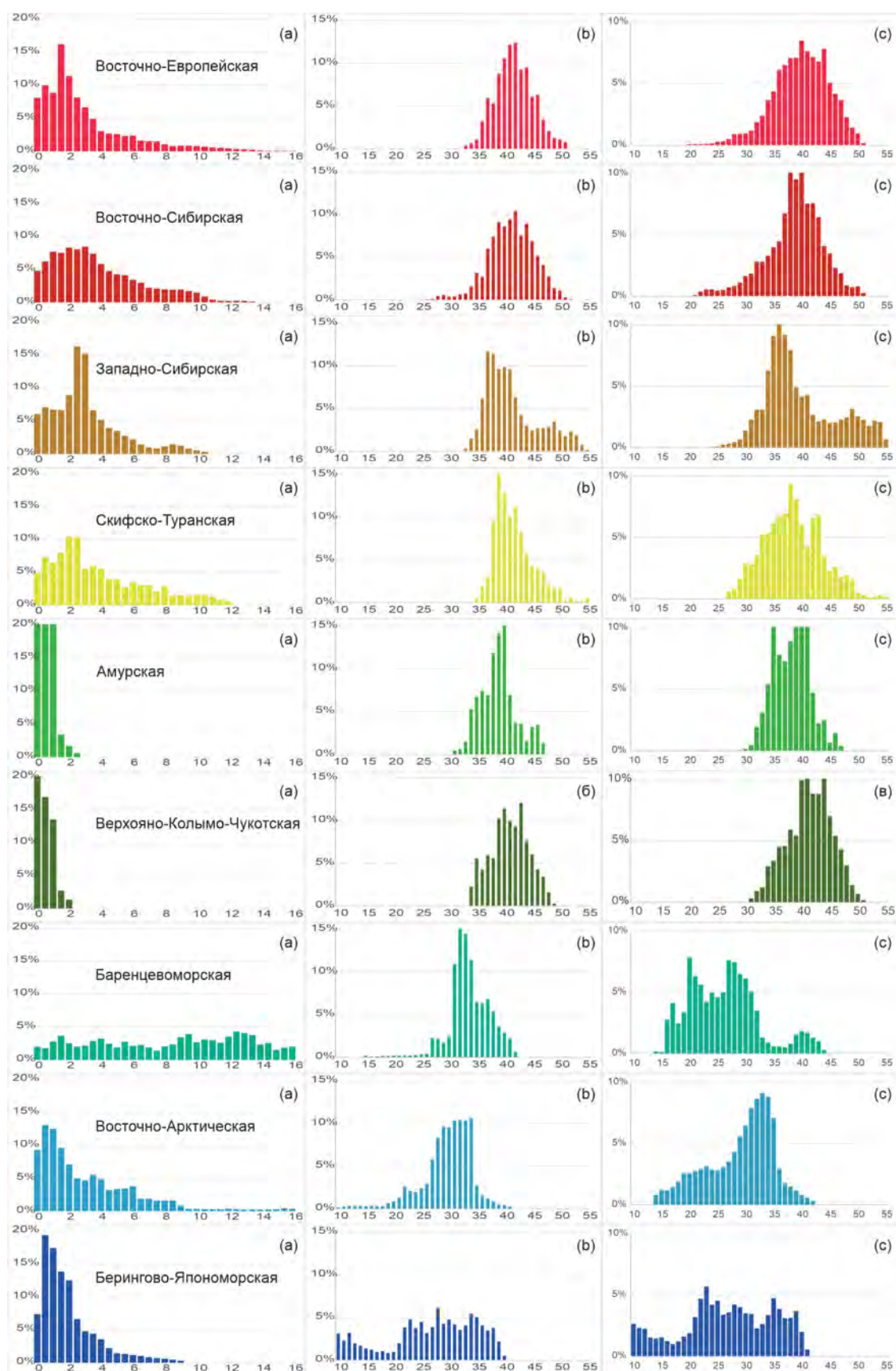


Рис. 9. Распределение мощности основных элементов глубинного строения аномальных провинций

*a* — осадочный чехол, *b* — земная кора, *c* — консолидированная земная кора

Fig. 9. Basic deep structure thickness distribution in anomalous provinces

*a* — sedimentary cover, *b* — Earth's crust, *c* — consolidated Earth's crust

фундамента Восточно-Европейской платформы [25; 32]: два древнейших «ядра» (протократона) представлены Лапландско-Мезенской и Волго-Уральской аномальными областями, их разделяет Среднерусская область северо-восточного простирания с фундаментом преимущественно раннепротерозойского возраста.

Западно-Сибирская и Скифско-Туранская аномальные провинции, соответствующие молодым плитам, имеют принципиально отличающиеся от древних платформ характеристики по картам глубинного строения. Диапазоны изменения мощности осадочного чехла двух аномальных провинций близки (0,5–11,0 км); при этом следует учитывать, что в пределах России Скифско-Туранская провинция представлена фрагментом. Средняя мощность земной коры обеих провинций находится в диапазоне 38–42 км. Однако Западно-Сибирская провинция характеризуется бимодальным распределением параметра, и второй максимум отмечается в области аномально высоких значений (48–54 км). Эта область диаграммы соответствует южной части Алтае-Приенисейской аномальной области (ЗС-IV), которая включает структуры Алтае-Саяно-Монгольской складчатой области.

Фрагмент Скифско-Туранской провинции имеет четко выраженную линейную зональность северо-западного простирания (3 района): самая северная (СТ-I-1), соответствующая валу Карпинского, выражена надрегиональной положительной аномалией поля силы тяжести и отрицательной аномалией поля  $\Delta T_g$ ; две другие выделены в объеме Скифской плиты и характеризуются резким понижением поля  $\Delta g$ , вплоть до интенсивной отрицательной аномалии в южном районе и цепочкой вытянутых в северо-восточном направлении среднечастотных положительных магнитных аномалий.

Западно-Сибирская провинция имеет четырехчленное деление: три области сосредоточены на суше и имеют схожую внутреннюю зональность в виде вложенных конусов с вершинами, ориентированными на север. Они замыкаются четвертой областью, включающую сушу и акваториальную часть и характеризующуюся асимметричной зональностью центрального типа.

Три аномальные провинции (Верхояно-Колымо-Чукотская, Амурская и Восточно-Чукотско-Аляскинская) соотносятся с мезозойскими складчатыми областями. При этом последние две представлены фрагментарно, а объем Восточно-Чукотско-Аляскинской столь незначителен (в рамках данного масштаба), что статистические параметры и характер потенциальных полей не отражают ее реальный образ.

Осадочный чехол Верхояно-Колымо-Чукотской (далее — ВКЧ) и Амурской (далее — АМ) провинций представлен локальными впадинами мощностью менее 2 км. Диапазон изменения мощности земной коры составляет 15–20 км, при этом средние значения (~60 % территории) для ВКЧ смещены в область более высоких значений (39–44 км) по отношению к Амурской (38–42 км). Области мощной земной коры (более 44 км) составляют порядка 21 % в ВКЧ и не более 9 % в фрагменте Амурской провинции.

Две аномальные области фрагмента Амурской провинции (АМ-I и АМ-II) различаются как мощностью земной коры, так и внутренней зональностью. Аргуно-Хинганская область (АМ-I) при повышенной мощности коры (более 42 км) характеризуется резко пониженными значениями поля  $\Delta g$  при общей северо-восточной ориентировке средне-высокочастотных аномалий потенциальных полей. Зональность Буреинской области (АМ-II) тяготеет к центральному типу при относительно пониженной мощности земной коры (менее 40 км).

«Ядром» четырехчастного (с позиции аномальных областей) деления Верхояно-Колымо-Чукотской провинции является Омолоно-Чукотская область (ВКЧ-III), которая на северо-запад «наращивается» Уяндинской (ВКЧ-II) и на юг-запад Черско-Момской (ВКЧ-IV) и Верхояно-Колымской (ВКЧ-I) областями. Провинция имеет широкий диапазон изменения мощности земной коры (~20 км), при этом относительно узкий диапазон более 39–45 км отвечает более чем 65 % площади, а на 10 % площади отмечаются аномально высокие значения (более 45 км). Наибольшей мощностью коры характеризуется Омолоно-Чукотская область, высокие значения параметра отмечаются также в юго-западных областях (ВКЧ-I, ВКЧ-IV). В направлении Восточно-Арктической провинции мощность земной коры всех областей снижается, минимальными значениями (менее 38 км) характеризуется Уяндинская область (ВКЧ-II).

Две аномальные провинции (Баренцевоморская и Восточно-Арктическая) пассивной окраины континента в пределах Северного Ледовитого океана значимо различаются по всем глубинным параметрам и характеру потенциальных полей.

Гистограмма мощности осадочного чехла Баренцевоморской провинции резко отличается от всех остальных гистограмм по аналогичному параметру (рис. 9, а): практически равномерно распределенные значения при аномально широком диапазоне (более 18 км). Слабо выраженный максимум в интервале 8–14 км соответствует Баренцевской области (за исключением Новой Земли), а значения менее 4 км в области сопредельной с границей «континент-океан» (Франца-Иосифа). Восточно-Арктическая провинция при схожем диапазоне изменения мощности осадков (16 км) характеризуется относительно низкими значениями — более 80 % площади имеет мощность осадочного чехла менее 5 км, а площадь с мощностью более 8 км составляет порядка 7 %. Это определяет резкое различие провинций по оценке мощности консолидированной коры (рис. 9, с). Резко различна и ориентировка аномалий потенциальных полей двух аномальных провинций: для основной (по площади) Баренцевской области преобладают субмеридиональные направления региональных и среднечастотных аномалий  $\Delta g$ , в то время как в занимающей большую площадь Новосибирско-Чукотской области Восточно-Арктической провинции — субширотные.

Как уже отмечалось ранее, Берингово-Япономорская провинция резко отличается по всем глубинным параметрам от аномальных провинций Северного Ледовитого океана. Диапазон мощности осадочного



чехла составляет порядка 9 км при резко преобладающих значениях менее 3 км (80 % площади). Гистограммы мощности земной и консолидированной земной коры подобны, однако трехчастное деление с максимумами в районе 10–12 км, 22–25 км и 35–38 км более ярко выражено на гистограмме консолидированной земной коры (рис. 9, *b, c*). Это свидетельствует о крайней неоднородности провинции, в состав которой входят как задуговые бассейны (Берингоморская область и Южно-Охотский и Центрально-Япономорский районы), так и складчатые системы (Корякско-Камчатская и Сихотэ-Алинская области, Сахалинский район).

Анализ схемы районирования фундамента, основанный на особенностях структуры потенциальных полей в совокупности с параметрами глубинного строения, свидетельствует об индивидуальности выделенных аномальных провинций, что отчетливо выражено в гистограммах параметров глубинного строения и внутренней зональности (распределении областей и районов) провинций. С одной стороны, аномальные провинции в подавляющем большинстве случаев коррелируют с общепринятыми надрегиональными тектоническими структурами (древние и молодые платформы, складчатые области и т. д.). С другой стороны, в целом ряде случаев границы их существенно расширены и в их состав включены области, структура и глубинные параметры которых преобразованы более молодыми процессами активизации, чем «базовая» кристаллическая кора. Авторы отдают себе отчет в дискуссионности подобных решений, но тем не менее считают, что это дает возможность по-новому взглянуть на историю развития надрегиональных структур. Выделение нового элемента районирования — пограничных поясов трех типов — указывает на сложный и разноплановый характер взаимодействия крупнейших тектонических структур и предполагает необходимость современным концептуальным представлениям о строении складчатых областей с последующим их возможным уточнением в связи с новыми данными по глубинному строению. В соответствии с этим представленная схема может рассматриваться как новый и принципиально важный элемент современного 3D тектонического районирования России.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Возможность использования карт глубинного строения для тектонических построений демонстрируется на примере районирования фундамента ВС аномальной провинции. Схема (рис. 8) была доработана с учетом современных представлений о тектонике Сибирского кратона [33; 34] и преобразована в схему тектонического районирования (рис. 10) с разделением кристаллического фундамента на блоки, различающиеся по формационному типу — гранулитогнейсовые и гранит-зеленокаменные (тоналит-трондьемит-гнейсовые) и возрасту. На полученной схеме прослежены все основные элементы строения кратона.

Основу структурного каркаса ВС занимают две меридионально вытянутые аномальные области — Анабаро-Алданская и Тунгусо-Ангарская. Первая соответствует архейскому Далдыно-Алданскому гранулитовому поясу [33], в составе которого выделяются как ортогнейсовые (Далдынский, Тунгский, Нимнырский), так и парагнейсовые блоки (Хапчанский и Учурский). Тунгусо-Ангарская область в свою очередь соответствует Тунгусской группе гранулитовых блоков архейского возраста, каждый из которых в рамках данной схемы не имеет собственного названия. Внутреннее строение гранулитовых блоков подобного типа определяется наличием крупных гнейсовых овалов [35], которые обрамляются кристаллическими комплексами, занимающими промежуточное «межовальное» положение. Гранулитогнейсовые овалы уверенно выделяются по картам потенциальных полей и идентифицируются как в пределах Далдыно-Алданского пояса, так и в Тунгусских блоках. При этом в Далдыно-Алданском поясе границы овалов, оконтуренные по аномалиям потенциальных полей, полностью совпадают с их границами, приводимыми на геологических схемах строения Алданского щита [35]. Это позволяет выделять аналогичные структуры на перекрытых осадками областях (рис. 10).

По современным представлениям, расположенные к западу от Далдыно-Алданского пояса Биректинский и Тыринский блоки относятся к палеопротерозойской коре тоналит-трондьемит-гнейсового типа [33; 34]. Между Анабаро-Алданской и Тунгусо-Ангарской располагается Мамско-Виллюйская область, которой соответствуют Маганский и Олёкминский блоки фундамента гранит-зеленокаменного типа. Мамско-Виллюйская область имеет форму равнобедренного треугольника, типичную для гранит-зеленокаменных областей древних платформ [35].

Принципиальным элементом строения Сибирского кратона являются шовные зоны или зоны смятия (шеар-зоны в англоязычной литературе) (рис. 10). Шовные зоны, расположенные внутри кратона, разделяют блоки кристаллической коры; зоны, отмечаемые на периферии, являются границами кратона и смежных складчатых областей. Они прослеживаются по границам практически всех блоков, характеризуются шириной от первых км до десятков км и, как правило, выражены в аномалиях потенциальных полей.

Нанесенные на карты глубинного строения зоны смятия в большинстве случаев оказываются конформными границам аномалий мощности земной коры, их структурному рисунку либо сами отмечаются по линейным аномалиям мощности. Наибольшей шириной среди зон подобного типа отличаются Байкало-Патомская и Верхоянская зоны, характеризующиеся крупноамплитудными надвигами и шарьяжами. Последняя в схеме геофизического районирования отнесена к пограничным поясам первого типа. Байкало-Патомская зона рифейского возраста входит в сложную структуру Центрально-Азиатского пояса, отделяя Западно-Становой блок кратонного типа от Сибирского кратона. Как и Верхоянский пояс,

Байкало-Патомская зона отмечается линейными аномалиями повышенной мощности земной коры. На севере она перекрывает Маганскую зону смятия или тектонического меланжа [30], так же как Верхоянская зона перекрывает Билляхскую и Улканскую зоны (рис. 10).

По южному обрамлению Баргузино-Витимского и Станового блоков, чьи границы коррелируются с зонами повышенного градиента мощности коры, прослеживаются несколько ветвящихся зон смятия, которые представляют собой пояса динамометаморфических комплексов (рис. 10). Такая особенность зон смятия не является уникальной чертой Центрально-Азиатского складчатого региона, так как схожую морфологию обнаруживают также зоны тектонического меланжа в пределах хорошо изученного Анабарского щита [30]. Можно предположить, что и в других погребенных или слабоизученных областях морфология расположенных в их пределах

зон смятия в действительности значительно сложнее, чем это обычно изображается на тектонических схемах.

Одним из самых изученных динамометаморфических поясов южной складчатой периферии Сибирского кратона является Агинско-Борщовочный пояс [36], обрамляющий с юга Становой блок. Высокая металлогеническая значимость пояса способствовала повышенному вниманию к проблемам геологического строения объектов подобного типа в Забайкальском регионе.

На опорном геолого-геофизическом профиле 1-СБ-Восточный, пересекающим Агинско-Борщовочный пояс, была забурена Забайкальская параметрическая скважина, что позволило получить опорный разрез Борщовочного комплекса метаморфического ядра — одного из важнейших тектонических элементов не только конкретного пояса, но и всего региона [37].

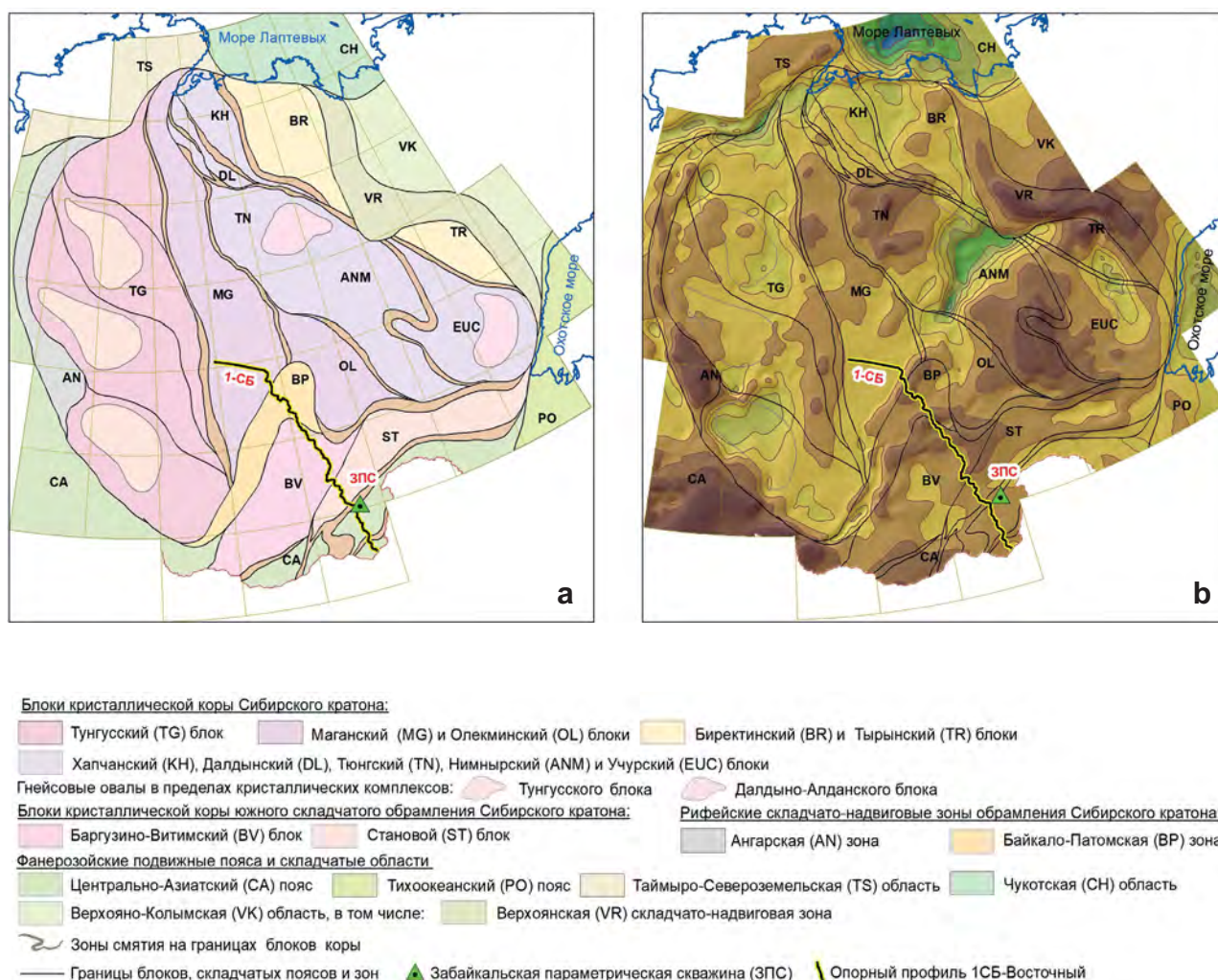


Рис 10. Схема тектонического районирования фундамента Сибирского кратона и его южного обрамления (а), схема мощности консолидированной земной коры с элементами тектонического районирования (b)

Условные обозначения к схеме мощности земной коры с элементами тектонического районирования приведены на рис. 7.

Fig. 10. Tectonic basement structure of the Siberian Craton and southern adjacent areas (a), consolidated Earth's crust thickness map, with tectonic elements borders included (b)

Fig. 7 presents symbols for the crust thickness map, with tectonic elements borders included.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданный по материалам глубинных геофизических исследований территории России и ее континентального шельфа цифровой комплект карт отражает особенности строения земной коры на всю ее мощность, демонстрирует связь глубинных и поверхностных геологических структур и может служить основой для фундаментальных геотектонических построений. Информационный ресурс, позволяющий использовать цифровые карты для последующих обобщений и геологической интерпретации в рамках сводного и обзорного картографирования, размещен на сайте института им. А. П. Карпинского в «Цифровом двойнике недр России» по ссылке [<https://wega.vsegei.ru/site/gisatlas>].

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Опыт многоволновой сейсморазведки при изучении земной коры континентов и океанов / Под ред. С. Н. Кашубина, О. В. Петрова. СПб. : ВСЕГЕИ, 2022. 112 с.
2. Mooney W. D. Crust and Lithospheric Structure — Global Crustal Structure / [Eds.] B. Romanowicz, A. Dziewonski // *Treatise on Geophysics*. Vol. 1: Seismology and Structure of the Earth. Elsevier, 2007. P. 361–417. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52748-6.00011-0>.
3. Глубинные сейсмические исследования в России: результаты и проблемы. Модели земной коры и верхней мантии по результатам глубинного сейсмопрофилирования / А. В. Липилин [и др.] // *Материалы Международного научно-практического семинара*. Роснедра, ВСЕГЕИ. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. С. 85–90.
4. Государственная сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин — основа глубинного 3D картографирования территории Российской Федерации и ее континентального шельфа / С. Н. Кашубин [и др.] // *Региональная геология и металлогения*. 2016. № 67. С. 43–48.
5. Глубинное геолого-геофизическое изучение недр России: современное состояние и основные задачи / Р. Б. Сержантов [и др.] // *Региональная геология и металлогения*. 2013. № 53. С. 26–31.
6. Атлас карт глубинного строения земной коры и верхней мантии территории СССР: краткие пояснительные тексты / Ред. В. Ю. Зайченко [и др.] // *Министерство геологии СССР; АН СССР; ВНИИГеофизика*. М., 1989. 83 с.
7. Костюченко С. Л., Морозов А. Ф. Геолого-геофизические образы земной коры и верхней мантии территории России в картах и моделях. Модели земной коры и верхней мантии по результатам глубинного сейсмопрофилирования // *Материалы Международного научно-практического семинара*. Роснедра, ВСЕГЕИ. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. С. 82–85.
8. Строение раздела Мохо территории России и прилегающих акваторий. Модели земной коры и верхней мантии по результатам глубинного сейсмопрофилирования / Ю. М. Эринчек [и др.] // *Материалы Международного научно-практического семинара*. Роснедра, ВСЕГЕИ. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. С. 241–244.
9. Российская научная школа геологической картографии в создании нового поколения государственных геологических карт территории Российской Федерации, ее континентального шельфа и глубоководных окраин Евразии и Циркумполярной Арктики / О. В. Петров [и др.] // *Региональная геология и металлогения*. 2016. № 67. С. 6–18.
10. Карта типов земной коры Арктики / О. В. Петров [и др.] // *Тектоническая карта Арктики*. СПб. : ВСЕГЕИ, 2019. С. 26–32.
11. *Tectonics of Asia (Northern, Central and Eastern Asia)* / [Eds.] O. V. Petrov, S. Dong. Cham: Springer, 2021. 262 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-62001-1>.
12. *Tectonics of the Arctic*. Springer Geology / [Eds.] O. V. Petrov, M. Smelror. Cham: Springer, 2021. 208 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-46862-0>.
13. *Геологический словарь*. В 2-х томах / Под ред. А. Н. Криштофовича. М. : Госгеолтехиздат, 1960. Т. 1 — 402 с.; Т. 2 — 445 с.
14. *Геологический словарь*. В 2-х томах. Издание 2-е, перераб. и доп. / Под ред. К. Н. Паффенгольца. М. : Недра, 1978. Т. 1 — 486 с.; Т. 2 — 456 с.
15. *Геологический словарь*. В 3-х томах. Издание 3-е перераб. и доп. / Гл. ред. О. В. Петров., СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2010–2011. Т. 1 — 432 с.; Т. 2 — 480 с.; Т. 3 — 440 с.
16. Christensen N. I., Mooney W. D. Seismic Velocity Structure and Composition of the Continental Crust: A Global View // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 1995. Vol. 100, iss. B6. P. 9761–9788. <https://doi.org/10.1029/95JB00259/>.
17. Типы земной коры Циркумполярной Арктики / С. Н. Кашубин [и др.] // *Региональная геология и металлогения*. 2013. № 55. С. 5–20.
18. Типы земной коры Центральной и Северо-Восточной Азии, дальневосточной и арктической областей перехода континент–океан / С. Н. Кашубин [и др.] // *Региональная геология и металлогения*. 2018. № 73. С. 6–18.
19. Карта мощности земной коры Циркумполярной Арктики / С. Н. Кашубин [и др.] // *Региональная геология и металлогения*. 2011. № 46. С. 5–13.
20. Структурная карта поверхности фундамента платформенных территорий СССР. Масштаб 1 : 5 000 000 / Гл. ред. В. В. Семенович [и др.]. Министерство геологии СССР, 1982.
21. Структурно-формационная карта фундамента Западно-Сибирской плиты масштаба 1 : 5 000 000 / Ред. В. С. Сурков. Новосибирск : СНИИГГиМС, 2000.
22. Геохимическое картирование Циркумполярной Арктики: научная парадигма, технология, предварительные результаты / А. А. Кременецкий [и др.] // *Разведка и охрана недр*. 2015. № 6. С. 8–21.
23. Тектоническое районирование фундамента Арктики / О. В. Петров [и др.], ред. О. В. Петров, М. Пубелье // *Тектоническая карта Арктики*. СПб. : ВСЕГЕИ, 2019. С. 40–60.
24. Косыгин Ю. А. Основы тектонического районирования // *Принципы тектонического районирования*. Владивосток, 1975. С. 8–24.
25. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы. Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС. В 2-х томах. М. : ГЕОКАРТ ; ГЕОС, 2010. Т. 1. 408 с.
26. Сурков В. С., Жеро О. Г. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. М. : Недра, 1981. 144 с.
27. Millera H. G., Singh V. Potential Field TILT — a New Concept for Location of Potential Field Sources // *Journal of Applied Geophysics*. 1994. Vol. 32, iss. 2–3. P. 213–217. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90022-1).
28. Схема районирования аномальных потенциальных полей Арктики / С. Н. Кашубин [и др.], ред. О. В. Петров, М. Пубелье // *Тектоническая карта Арктики*. СПб. : ВСЕГЕИ, 2019. С. 18–21.
29. Глубинное строение земной коры северо-восточной Евразии и ее континентальных окраин / С. Н. Кашубин [и др.] // *Геодинамика и тектонофизика*. 2021. Т. 12 (2). С. 199–224. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-2-0521>.
30. Воронин А. Ю. Районирование территорий на основе искусственного интеллекта и распознавания образов в задачах природопользования // *Автореферат дис. ... д-ра техн. наук*. М., 2007. 44 с.

31. Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (проект Уралсейс). Тверь : ГЕРС, 2001. 286 с.
32. Богданова С. В. Земная кора Русской плиты в раннем докембрии (на примере Волго-Уральского сегмента). М. : Наука, 1986. 224 с.
33. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М. : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 571 с.
34. The Siberian Craton and its evolution in terms of the Rodinia hypothesis / D. P. Gladkochub [et al.] // Episodes. 2006. Vol. 29. P. 169–174. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2006/v29i3/002>.
35. Салоп Л. И. Геологическое развитие Земли в докембрии. Л. : Недра, 1982. 343 с.
36. Рутштейн И. Г., Богач Г. И., Абдукаримов Т. Ф. Геология и рудоносность динамометаморфических структур Восточного Забайкалья. Изд. 2-е, испр. и доп. / Отв. ред.: Н. В. Межеловский, И. Г. Рутштейн. М. : Геокарт-Геос, 2015. 169 с.
37. Забайкальская параметрическая скважина: первые данные о глубинном строении Борщовочного комплекса метаморфического ядра / О. В. Петров [и др.] // Докл. РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 513, № 2. С. 165–173. <https://doi.org/10.31857/S2686739723601321>.

## REFERENCES

1. Experience of multiwave seismic exploration in the study of the earth's crust of continents and oceans / [Eds.] S. N. Kashubin, O. V. Petrov. St. Petersburg: VSEGEI; 2022. 112 p. (In Russ.).
2. Mooney W. D. Crust and Lithospheric Structure — Global Crustal Structure / [Eds.] B. Romanowicz, A. Dziewonski. *Treatise on Geophysics*. Vol. 1: *Seismology and Structure of the Earth*. Elsevier; 2007. P. 361–417. <https://doi.org/10.1016/B978-044452748-6.00011-0>.
3. Deep seismic studies in Russia: results and problems. Models of the earth's crust and upper mantle based on the results of deep seismic profiling / A. V. Lipilin [et al.]. *Proceedings of the International scientific and practical seminar. Rosnedra, VSEGEI*. St. Petersburg: VSEGEI Publishing House; 2007. P. 85–90. (In Russ.).
4. State network of reference geological and geophysical profiles, parametric and superdeep wells — the basis for deep 3D mapping of the territory of the Russian Federation and its continental shelf / S. N. Kashubin [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2016; (67): 43–48. (In Russ.).
5. Deep geological and geophysical study of the subsurface of Russia: current state and main tasks / R. B. Serzhantov [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2013; (53): 26–31. (In Russ.).
6. Atlas of the map of the deep structure of the earth's crust and the upper mantle of the territory of the USSR: [Maps]: short explanatory texts / [Eds.] V. Yu. Zaychenko [et al.]. *Ministry of Geology of the USSR; Academy of Sciences of the USSR; VNIIGeophysics*. Moscow; 1989. 83 p. (In Russ.).
7. Kostyuchenko S. L., Morozov A. F. Geological and geophysical images of the earth's crust and upper mantle of the territory of Russia in maps and models. Models of the earth's crust and upper mantle based on the results of deep seismic profiling // *Proceedings of the International scientific and practical seminar. Rosnedra, VSEGEI*. St. Petersburg: VSEGEI Publishing House; 2007. P. 82–85. (In Russ.).
8. Structure of the Moho boundary of the territory of Russia and adjacent water areas. Models of the earth's crust and upper mantle based on the results of deep seismic profiling / Yu. M. Erinchek [et al.]. *Proceedings of the International scientific-practical seminar. Rosnedra, VSEGEI*. St. Petersburg: VSEGEI Publishing House; 2007. P. 241–244. (In Russ.).
9. Russian scientific school of geological cartography in creating a new generation of state geological maps of the territory of the Russian Federation, its continental shelf and deep-water margins of Eurasia and the Circumpolar Arctic / O. V. Petrov [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2016; (67): 6–18. (In Russ.).
10. Map of Arctic crust types. In the book / O. V. Petrov [et al.]. *Tectonic map of the Arctic*. St. Petersburg: VSEGEI; 2019. P. 26–32. (In Russ.).
11. Tectonics of Asia (Northern, Central and Eastern Asia) / [Eds.] O. V. Petrov, S. Dong. Cham: Springer; 2021. 262 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-62001-1>.
12. Tectonics of the Arctic. Springer Geology / [Ed.] O. V. Petrov, M. Smelror. Cham: Springer; 2021. 208 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-46862-0>.
13. Geological dictionary. In two volumes / [Ed.] A. N. Kristofovich. Moscow: Gosgeoltekhizdat; 1960. Vol. 1: 402 p.; Vol. 2: 445 p. (In Russ.).
14. Geological dictionary. In two volumes. Second edition, revised and enlarged / [Eds.] K. N. Paffengolts. Moscow: Nedra; 1978. Vol. 1: 486 p.; Vol. 2: 456 p. (In Russ.).
15. Geological Dictionary. In three volumes. Third edition, revised and enlarged // [Ed.] O. V. Petrov. St. Petersburg: VSEGEI Publishing House; 2010–2012. Vol. 1: 432 p.; Vol. 2: 480 p.; Vol. 3: 440 p. (In Russ.).
16. Christensen N. I., Mooney W. D. Seismic Velocity Structure and Composition of the Continental Crust: A Global View. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 1995; 100 (B6): 9761–9788. <https://doi.org/10.1029/95JB00259/>.
17. Types of the Earth's Crust of the Circumpolar Arctic / S. N. Kashubin [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2013; (55): 5–20. (In Russ.).
18. Types of the earth's crust in Central and North-East Asia, the Far Eastern and Arctic regions of the continent-ocean transition / S. N. Kashubin [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2018; (73): 6–18. (In Russ.).
19. Map of the crustal thickness of the Circumpolar Arctic / S. N. Kashubin [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2011; (46): 5–13. (In Russ.).
20. Structural map of the basement surface of platform territories of the USSR. Scale 1 : 5,000,000 / [Eds.] V. V. Semenov [et al.]. USSR Ministry of Geology; 1982. (In Russ.).
21. Structural-formational map of the basement of the West Siberian plate at a scale of 1 : 5,000,000 / [Ed.] V. S. Surkov. Novosibirsk: SNIIGiMS; 2000. (In Russ.).
22. Geochemical mapping of the Circumpolar Arctic: scientific paradigm, technology, preliminary results / A. A. Kremenetsky [et al.]. *Prospect and Protection of Mineral resources*. 2015; (6): 8–21. (In Russ.).
23. Tectonic zoning of the Arctic basement / O. V. Petrov [et al.], [Eds.] O. V. Petrov, M. Pubellier. *Tectonic map of the Arctic*. St. Petersburg: VSEGEI; 2019. P. 40–60. (In Russ.).
24. Kosygin Yu. A. Fundamentals of tectonic zoning // *Principles of tectonic zoning*. Vladivostok; 1975. P. 8–24. (In Russ.).
25. Deep structure, evolution and useful minerals of the Early Precambrian basement of the East European platform. Interpretation of materials on the reference profile 1-EB, profiles 4B and TATSEIS. In 2 volumes. Moscow: GEOKART; GEOS; 2010. Vol. 1. 408 p. (In Russ.).
26. Surkov V. S., Zhero O. G. Foundation and development of the platform cover of the West Siberian plate. Moscow: Nedra; 1981. 144 p. (In Russ.).
27. Millera H. G., Singh V. Potential Field TILT — a New Concept for Location of Potential Field Sources. *Journal of Applied Geophysics*. 1994; 32 (2–3): 213–217. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90022-1).
28. Scheme for zoning anomalous potential fields in the Arctic / S. N. Kashubin [et al.], [Eds.] O. V. Petrov, M. Pubellier. *Tectonic map of the Arctic*. St. Petersburg: VSEGEI; 2019. P. 18–21. (In Russ.).
29. Deep structure of the earth's crust of northeastern Eurasia and its continental margins / S. N. Kashubin [et al.]. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2021; 12 (2): 199–224. doi:10.5800/GT-2021-12-2-0521. (In Russ.).
30. Voronin A. Yu. Zoning of territories based on artificial intelligence and pattern recognition in nature management



tasks. Abstract of a dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Moscow; 2007. 44 p. (In Russ.).

31. Deep structure and geodynamics of the Southern Urals (Uralseis project). Tver: GERS Publishing House; 2001. 286 p.

32. Bogdanova S. V. The Earth's crust of the Russian plate in the early Precambrian (using the Volga-Ural segment as an example). Moscow: Nauka; 1986. 224 p. (In Russ.).

33. Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). Moscow: MAIK "Nauka/Interperiodika"; 2001. 571 p. (In Russ.).

34. The Siberian Craton and its evolution in terms of the Rodinia hypothesis / D. P. Gladkochub [et al.]. *Episodes*.

2006; (29): 169–174. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2006/v29i3/002>.

35. Salop L. I. Geological development of the Earth in the Precambrian. Leningrad: Nedra; 1982. 343 p. (In Russ.).

36. Geology and ore-bearing capacity of dynamometamorphic structures of Eastern Transbaikalia 2nd ed., corrected and enlarged / I. G. Rutshteyn, G. I. Bogach, T. F. Abdugarimov; [Eds.] N. V. Mezhelevsky, I. G. Rutshteyn. Moscow: Geokart-Geos; 2015. 169 p. (In Russ.).

37. Transbaikalian parametric borehole: first data of the deep structure of the Borshtchovochny metamorphic core complex / O. V. Petrov [et al.]. *Reports of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences*. 2023; 513 (2): 165–173. <https://doi.org/10.31857/S2686739723601321> (In Russ.).

---

## Евгения Дововна Мильштейн

Кандидат геолого-минералогических наук,  
ведущий геофизик отдела глубинной геофизики

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-3618-6348>

SPIN-код РИНЦ 5197-7487

[Evgenia\\_Milshteyn@karpinskyinstitute.ru](mailto:Evgenia_Milshteyn@karpinskyinstitute.ru)

## Evgeniia D. Milshteyn

PhD (Geology and Mineralogy), Leading Geophysicist,  
Department of Deep Geophysical Studies

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-3618-6348>

RSCI SPIN-code 5197-7487

[Evgenia\\_Milshteyn@karpinskyinstitute.ru](mailto:Evgenia_Milshteyn@karpinskyinstitute.ru)

## Евгений Александрович Андросов

Ведущий геофизик  
отдела глубинной геофизики

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0004-7673-4980>

[Evgeniy\\_Androsoy@karpinskyinstitute.ru](mailto:Evgeniy_Androsoy@karpinskyinstitute.ru)

## Evgeniy A. Androsoy

Leading Geophysicist, Department  
of Deep Geophysical Studies

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0004-7673-4980>

[Evgeniy\\_Androsoy@karpinskyinstitute.ru](mailto:Evgeniy_Androsoy@karpinskyinstitute.ru)

## Сергей Николаевич Кашубин

Доктор геолого-минералогических наук, профессор,  
консультант отдела глубинной геофизики

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0001-4211-962X>

SPIN-код РИНЦ 6426-3358

[Sergey\\_Kashubin@karpinskyinstitute.ru](mailto:Sergey_Kashubin@karpinskyinstitute.ru)

## Sergey N. Kashubin

DSc (Geology and Mineralogy), Professor,  
Consultant, Department of Deep Geophysical Studies

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0001-4211-962X>

RSCI SPIN-code 6426-3358

[Sergey\\_Kashubin@karpinskyinstitute.ru](mailto:Sergey_Kashubin@karpinskyinstitute.ru)

## Иван Вячеславович Кудрявцев

Руководитель Центра глубинной геофизики

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0006-0881-8482>

SPIN-код РИНЦ 7812-1507

[Ivan\\_Kudryavtsev@karpinskyinstitute.ru](mailto:Ivan_Kudryavtsev@karpinskyinstitute.ru)

## Ivan V. Kudryavtsev

Head, Department of Deep Geophysical Studies

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0006-0881-8482>

RSCI SPIN-code 7812-1507

[Ivan\\_Kudryavtsev@karpinskyinstitute.ru](mailto:Ivan_Kudryavtsev@karpinskyinstitute.ru)

---

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 29.10.2024  
Одобрена после рецензирования 06.12.2024  
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 29.10.2024  
Approved after reviewing 06.12.2024  
Accepted for publication 28.12.2024

Научная статья

УДК 550.42:546.027+550.93(470)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_59-72

**Программа систематических изотопно-геохимических и геохронологических исследований геологических комплексов территории России: методы и первые результаты 2022–2024 гг.<sup>1</sup>**

Г. А. Бабин<sup>1</sup>✉, А. Г. Пахалко<sup>1</sup>,  
А. А. Соболева<sup>2</sup>, А. Е. Цыбульская<sup>1</sup>,  
М. Э. Кутырева<sup>1</sup>, Г. А. Олейникова<sup>1</sup>,  
В. Б. Хубанов<sup>3</sup>, С. А. Сергеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия, Gennadiy\_Babin@karpinskyinstitute.ru✉

<sup>2</sup>Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия

<sup>3</sup>Геологический институт им. Н. Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия; Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

**Ключевые слова:** Россия, геохронология, изотопно-геохимические исследования, методы, предварительные результаты

**Благодарности:** работы проведены по Государственному заданию Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2022 г. № 049-00018-22-01.

**Для цитирования:** Программа систематических изотопно-геохимических и геохронологических исследований геологических комплексов территории России: методы и первые результаты 2022–2024 гг. / Г. А. Бабин [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 59–72. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_59-72](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_59-72)



© Г. А. Бабин, А. Г. Пахалко, А. А. Соболева, А. Е. Цыбульская, М. Э. Кутырева, Г. А. Олейникова, В. Б. Хубанов, С. А. Сергеев, 2024

**Аннотация.** В Институте Карпинского при поддержке Роснедра начата реализация долговременной Программы систематического геохронологического и изотопно-геохимического изучения геологических комплексов территории России, нацеленной на широкое внедрение в практику геолого-разведочных работ результатов современных лабораторно-аналитических исследований. Программой предусматривается изотопное датирование, изучение петрографического, петрогеохимического и изотопно-геохимического составов магматических, метаморфических и осадочных пород. На первом этапе, в 2022–2024 гг. датирование с сопутствующим комплексом аналитических исследований проведено в 500 опорных пунктах, расположенных в горно-складчатых регионах России. Полученные результаты оперативно используются при уточнении региональных схем корреляции магматизма и метаморфизма, составлении новых и обновлении существующих геологических карт, во многих случаях способствовали значительному прогрессу в части реконструкции металлогенической эволюции и геологической истории развития регионов. В качестве примера приведены результаты геохронологических исследований интрузивных пород Кузнецкого Алатау и зеленосланцевого комплекса Западного Саяна в Алтае-Саянской складчатой области. Итоговыми документами работ являются Паспорта, которые суммируют результаты петрологических, изотопно-геохимических и геохронологических исследований по каждому изученному объекту в рамках Программы. В дополнительные материалы к статье помещены примеры Паспортов для интрузивного, метаморфического и осадочного комплексов.

<sup>1</sup>Дополнительные материалы к статье доступны по ссылке: [https://reggeomet.ru/archive/100/Babin\\_Pril\\_07.11.2024.pdf](https://reggeomet.ru/archive/100/Babin_Pril_07.11.2024.pdf).



Original article

UDC 550.42:546.027+550.93(470)  
doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_59-72

## Program of systematic isotope, geochemical, and geochronological studies of geological complexes in Russia: Methods and initial results of 2022–2024<sup>1</sup>

G. A. Babin<sup>1</sup>✉, A. G. Pakhalko<sup>1</sup>, A. A. Soboleva<sup>2</sup>,  
A. E. Tsybul'skaya<sup>1</sup>, M. E. Kutyreva<sup>1</sup>, G. A. Oleynikova<sup>1</sup>,  
V. B. Khubanov<sup>3</sup>, S. A. Sergeev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia, Gennadiy\_Babin@karpinskyinstitute.ru✉

<sup>2</sup>Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

<sup>3</sup>Geological Institute named after Academician N.L. Dobretsov, Siberian  
Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia; Schmidt  
Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia

**Keywords:** Russia, geochronology, isotope  
and geochemical studies, methods, preliminary  
results

**Acknowledgments:** the research was supported by the Federal Subsoil Resources  
Management Agency (state geological study,  
No. 049-00018-22-01 dated 14.01.2022).

**For citation:** Program of systematic isotope,  
geochemical, and geochronological studies  
of geological complexes in Russia: Methods  
and initial results of 2022–2024 /  
G. A. Babin [et al.]. *Regional Geology and  
Metallogeny*. 2024; 31 (4): 59–72. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_59-72](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_59-72)

**Abstract.** Karpinsky Institute launched a Rosnedra-driven long-term program for the systematic geochronological, isotope, and geochemical study of geological complexes in Russia in order to mainstream modern laboratory and analytical data in geological exploration. The program involves isotope dating, studying the petrographic, petrogeochemical, isotope, and geochemical compositions of igneous, metamorphic, and sedimentary rocks. The first stage of 2022–2024 covered dating as well as a set of analytical studies in 500 base stations in fold-belt regions of Russia. The obtained findings contribute to promptly specifying regional correlation diagrams for magmatism and metamorphism, creating new geological maps, and updating current ones; they frequently led to significant progress in reconstructing the metallogenic evolution and geological history of regional development. The geochronological results of studying the intrusive rocks of the Kuznetsk Alatau and greenschist complex of the Western Sayan in the Altai-Sayan Fold Area serve as an example. The Passports finalize the work by summarizing the results of petrological, isotope, geochemical, and geochronological studies for each explored object in the program. The Supplementary Data section contains examples of Passports for intrusive, metamorphic, and sedimentary complexes.

<sup>1</sup>The supplementary data are available at [https://reggeomet.ru/en/archive/100/Babin\\_Pril\\_07.11.2024.pdf](https://reggeomet.ru/en/archive/100/Babin_Pril_07.11.2024.pdf).

## ВВЕДЕНИЕ

До конца 1990-х гг. наблюдалось драматическое отставание в оснащённости геологических организаций России современной аналитической и, в частности, изотопной аппаратурой. Это обстоятельство во многом определяло состояние геологической изученности недр по сравнению с таковой в ведущих горнодобывающих странах мира. Для российской территории имелись лишь устаревшие и несистематизированные геохронологические данные, основанные главным образом на K-Ar методе, Rb-Sr изохронном и U-Pb по циркону в варианте класси-

ческого валового анализа. Точность и адекватность этой информации по большей части сомнительна. Региональные металлогенические работы, базирующиеся на методах изотопной геохимии, практически отсутствовали. Охарактеризованные изотопно-хемостратиграфическими методами разрезы осадочных пород были редки, что ограничивало возможности расчленения и корреляции немых осадочных толщ, часто имеющих важное нефте-газоконтролирующее значение.

Два основных научных направления деятельности геологического Института Карпинского — региональная геология и металлогения — в своем многолетнем

развитии закономерно подошли к этапу некоторого переполнения геологических карт и металлогенических построений субъективными воззрениями и схемами, не опирающимися на достоверные аналитические данные о физико-химических характеристиках и свойствах исследуемых геологических объектов. Во многом это определилось общим системным кризисом советской и российской науки, отсутствием современной лабораторно-аналитической базы. Сегодня со всей очевидностью встал вопрос о необходимости обратить самое серьезное внимание на качество баз данных, составляющих основу создаваемых геологических карт, поскольку именно оно определяет практическую эффективность региональных исследований. Повсеместно отмечается отсутствие системной геохронологической основы подготовки нового поколения Госгеолкарт, а также надежных реперных абсолютных датировок и специализированных изотопных исследований при геологоразведочных работах.

В настоящее время на территории России ведутся работы по созданию комплектов Государственных геологических карт (далее — ГК) масштаба 1 : 1 000 000 (третье издание) и 1 : 200 000 (второе поколение), составление и актуализация сводных и обзорных карт геологического содержания масштаба 1 : 2 500 000 и мельче. Начаты реализация долговременной госпрограммы по мониторингу ГК масштаба 1 : 1 000 000 и создание Единой геолого-картографической системы России. Отличительной особенностью ГК нового поколения является широкомасштабное систематическое применение современных изотопно-геохронологических и изотопно-геохимических методов и технологий. Во многом это объясняется созданием в ФГБУ «Институт Карпинского» центра изотопных исследований (далее — ЦИИ), техническим перевооружением центральной лаборатории (далее — ЦЛ) и, как следствие, возможностью применить при работах комплекс методов, недоступных ранее.

Однако, несмотря на широкое применение в последнее десятилетие современных методов исследования вещества, обоснованность геологических, тектонических и металлогенических построений в регионах с наиболее сложным строением остается недостаточным. Данное обстоятельство напрямую связано с пока еще невысокой изотопно-геохимической и геохронологической изученностью этих территорий, неполным учетом результатов уже проведенных исследований, а также с недостаточным уровнем систематизации, обобщения и имплементации имеющихся материалов в геологические основы современных карт территории России. В первую очередь это относится к регионам с широким развитием магматических и метаморфических пород, которые в то же время характеризуются наиболее высоким металлогеническим потенциалом (Урал, Алтае-Саянская складчатая область, Енисейский кряж, Тува, Восточный Саян, Забайкалье и другие регионы).

Особенно актуальна проблема повышения качества геологических карт для регионов с преимущественным развитием метаморфических комплексов

(щиты и краевые поднятия древних платформ, кристаллический фундамент кратонных блоков и др.). Так, например, ввиду недостатка геохронологических данных на геологических картах Алдано-Станового щита в основу расчленения метаморфических образований до сих пор положены традиционные стратиграфические схемы с выделением серий, свит и толщ. Хотя предварительный анализ уже имеющихся изотопно-геохронологических данных свидетельствует о том, что стратиграфический принцип расчленения и корреляции глубокометаморфизованных пород в данном случае неприемлем, а субъективные представления о времени и последовательности формирования субстрата метаморфических образований и рубежах метаморфизма не согласуются с результатами изотопного датирования. Опыт работ показывает, что основой расчленения и корреляции метаморфических образований и сопряженных с ними комплексов ультраметаморфогенных гранитоидов в подобных регионах должны служить результаты изотопного датирования и геохимического доизучения пород.

Недостаток современной изотопно-геохимической и геохронологической информации по регионам с широким развитием магматических и метаморфических пород в значительной мере снижает как научную, так и прогностическую ценность карт. Слабая изотопно-геохимическая и геохронологическая изученность сдерживает создание межрегиональной (межсерийной) схемы корреляции магматических и метаморфических комплексов территории России, которая должна служить петрологической основой государственных, сводных и обзорных карт территории России.

Для решения обозначенных проблем, повышения качества работ и результатов современных лабораторно-аналитических исследований Роснедра с 2022 г. начата реализация долговременной Программы систематического геохронологического и изотопно-геохимического изучения геологических (преимущественно магматических и метаморфических) комплексов территории России, первый этап которой охватывает 2022–2024 гг. Основным исполнителем работ выступает ФГБУ «Институт Карпинского». Имеющиеся в институте лабораторно-аналитические возможности позволяют выполнять практически любые анализы горных пород, руд, минералов, воды и объектов экологического мониторинга для решения задач, связанных с созданием ГК, а также обеспечением геологосъемочных, поисковых и разведочных работ. Особенно важны изотопные исследования, позволяющие получать принципиально новую информацию об объекте изучения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Принятый подход к изучению геологических объектов в рамках Программы предусматривает комплексный характер лабораторно-аналитических исследований, при котором изотопное дати-



рование пород сопровождается изучением их петрографического, петрогеохимического и изотопно-геохимического составов.

Изотопное датирование проводится следующими методами:

- U-Pb-датирование (методом SIMS на приборе SHRIMP-IIe) акцессорных зерен циркона, бадделита, титанита, апатита (магматические и ортометаморфические породы);

- U-Pb-датирование с использованием лазерной абляции (LA-ICP-MS) или методом SIMS на приборе SHRIMP-IIe детритовых зерен циркона (вулканогенно-осадочные, осадочные и параметаморфические породы);

- Sm-Nd, Rb-Sr и Re-Os ID-TIMS-изохронное датирование мономинеральных фракций и пород.

Сопутствующие аналитические исследования в пунктах датирования включают:

- петрографическое изучение;
- силикатный анализ (PCA);
- определение содержаний 42 редких и редкоземельных элементов (ICP-MS);
- изучение Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем (ID-TIMS).

- при необходимости проводится определение Lu-Hf изотопной системы в акцессорном цирконе, микрозондовые исследования минералов.

Основной объем аналитических работ в рамках Программы проведен ЦЛ и ЦИИ, часть анализов с использованием лазерной абляции (LA-ICP-MS) выполнена в Аналитическом центре минералого-геохимических и изотопных исследований ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ).

#### 1. Изотопное датирование и изотопно-геохимические работы.

Основным методом датирования горных пород является U-Pb метод по акцессорному циркону, это связано с тем, что U-Pb система в цирконах весьма консервативна и существует внутренний критерий оценки достоверности полученного возраста. Наличие в ЦИИ оборудования для реализации локальных методов анализа (SIMS с использованием прибора SHRIMP-IIe, лазерная абляция с ICP-MS) позволяет датировать в пределах единичных зерен минерала различные зоны роста и генерации, отвечающие различным геологическим процессам. Это дает возможность при анализе одной пробы распознать и датировать множество процессов, что особенно актуально для полигенных и метаморфических пород.

ЦИИ располагает лучшими образцами масс-спектрометрической техники для решения этих задач. ЦИИ — единственный среди изотопных лабораторий РФ, который имеет аттестат аккредитации в системе ГОСТ Р ИСО МЭК 17025-2019, его оборудование зарегистрировано в Росреестре средств измерений, и таким образом его продукция является легитимной и достоверной.

Определение возраста пород проводится локальным уран-свинцовым методом вторично-ионной масс-спектрометрии (SIMS) без разрушения анализируемого минерального индивида в домене размером 20 × 20 × 2 мкм. В ЦИИ с 2003 г. с функ-

ционирует прибор SIMS SHRIMP-IIe/MC — Прецизионный высокоразрешающий ионный микрозонд второго поколения с мультиколлектором (Sensitive High Resolution Ion Micro Probe = SHRIMP-II/MC). SHRIMP-IIe имеет исключительную чувствительность и разрешающую способность среди всех существующих вторично-ионных микрозондов в области U-Pb систематики.

В 2017 г. SIMS SHRIMP-II/MC в ЦИИ прошел глубокую модернизацию силами завода-изготовителя до уровня SHRIMP-IIe/MC (e=extended). Датирование ведется по различным минералам-геохронометрам (циркон, бадделит, пироксенол, титанит, перовскит, рутил, апатит и др.) с точностью лучше 1,5 % в интервале от архея до кайнозоя.

Реализация локальной методики требует проведения предварительного изучения кристаллов для того, чтобы идентифицировать и охарактеризовать различные зоны роста минералов, в том числе катодолюминесцентного, оптического и микрозондового изучения кристаллов при помощи сканирующего электронного микроскопа CamScan MX 2500, оснащенного системой INCA Energy 200 с энергодисперсионным спектрометром и катодолюминесцентным детектором CLI/QUA 2. Особенностью и преимуществом локального датирования является возможность выбора наиболее сохранившихся кристаллических фаз минеральных зерен.

При датировании основных и ультраосновных пород, а также эффузивов, маломощных даек в каждом конкретном случае обосновывается аутигенность циркона. В большинстве случаев это возможно осуществить уже при предварительном морфологическом исследовании с применением оптической микроскопии или при углубленном электронно-микроскопическом и катодолюминесцентном исследованиях. В более сложных случаях для обоснования аутигенности или для привязки той или иной генерации циркона к конкретному геологическому событию применяются дополнительные геохимические и изотопно-геохимические методы исследования: изучение изотопной систематики Hf и распределения элементов-примесей, включая редкоземельные элементы.

Для датирования пород методом лазерной абляции в ЦИИ запущена новая лазерно-абляционная система LSX-213nm G2+ (Teledyne CETAC Technologies, США) на основе твердотельного наносекундного лазера в комбинации с масс-спектрометром ICP (ионизация в индуктивно-связанной плазме) высокого разрешения NEPTUNE (Thermo Scientific, Германия). Характеристики наносекундного лазерного источника, запущенного в ЦИИ: длина волны 213 нм, частота 1–20 Гц, длительность импульса 3–5 нс, размер лазерного пятна от 4 до 200 мкм. Эти характеристики позволяют использовать систему для таких востребованных видов локальных изотопных анализов как датировки источников сноса осадочных бассейнов по детритовому циркону, изучение Lu-Hf-систем в цирконах, определение индикативных элементов (REE, Hf и др.) в акцессорных и породообразующих минералах.

При отсутствии автохтонных акцессорных цирконов применяются Sm-Nd, Rb-Sr, Re-Os изохронные

методы датирования с использованием термоионизационной масс-спектрометрии. Имеющийся в арсенале ЦИИ масс-спектрометр нового поколения TRITON TI (Thermo Scientific, Германия), построенный на базе многоколлекторной изотопной платформы, обеспечивает воспроизводимость по Sr и Nd лучше 5 ppm, что делает этот прибор одним из точнейших средств измерения изотопных геохронометров. Эти методы датирования более трудоемки и имеют более высокую неопределенность. С другой стороны, они позволяют дополнительно оценить начальные соотношения изотопов Nd и Sr, что является важнейшим изотопно-геохимическим критерием генезиса пород.

Сопутствующее датированию изучение Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем (ID-TIMS) позволяет уточнить природу магматических источников по значениям  $\epsilon_{Nd}$  и  $\epsilon_{Sr}$ , а также определить Nd-модельный возраст пород.

Опыт работы показывает, что среди геохронологических методов доминирующим является локальный вариант изучения U-Pb системы в цирконах — около 75 % определений возраста, остальное приходится на изохронные Sm-Nd и Rb-Sr методы. В единичных, особенно сложных случаях, дополнительно применяются Re-Os датирование по молибденитам и определение Hf модельного возраста по цирконам.

Более развернутая характеристика методов и инструментария геохронологических исследований и изотопной геохимии ЦИИ приведена в работе С. А. Сергеева с соавторами (Обзор современных методов изотопной геохронологии (составная часть Геохронологического Атласа) / С. А. Сергеев [и др.]. СПб., 2015. URL: [https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/geochron-atlas/geoch-atlas\\_obzor.pdf](https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/geochron-atlas/geoch-atlas_obzor.pdf)).

В ЦКП «Геоспектр» Геологического института им. Н. Л. Дубрецова СО РАН (г. Улан-Удэ) U-Pb изотопный анализ циркона методом лазерной абляции выполнялся на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR (Thermo Fisher Scientific), соединенным с приставкой для лазерного прибора UP-213 с длиной волны излучения 213 нм (New Wave Research). Инструментальные параметры приборов и методика измерений описаны в [28].

## 2. Определение содержаний химических элементов в породе.

Работы проводились в ЦЛ. Лаборатория аккредитована ААЦ «Аналитика», аттестат аккредитации № ААС.А.00619, в соответствии с требованиями международного стандарта ГОСТ ISO/IEC 17025-2019.

Определение содержаний основных породообразующих оксидов (силикатный анализ) осуществляется рентгеноспектральным флуоресцентным методом с использованием рентгеновского многоканального спектрометра ARL-9800 (Швейцария), позволяющего производить измерения в области длин волн от 1,2 до 0,18 нм. Анализ выполняется по методике предприятия III категории точности МП № 17/2013, разработанной в ЦЛ и включенной в область аккредитации.

Для определения содержаний микрокомпонентов (редких, редкоземельных и некоторых дру-

гих химических элементов) использовался метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). ЦЛ оснащена тремя масс-спектрометрами с индуктивно-связанной плазмой: «Элан-6100 DRC» и «Agilent-7700х» ведущих фирм-производителей аналитической техники «Перкин-Элмер» и «Agilent Tech». Работа проводилась по методикам предприятия (МП № 10/2010 и МП № 25/2020), разработанным в ЦИ и внесенным в область аккредитации. Применение современного программного комплекса позволяет обеспечить пределы обнаружения элементов в горных породах на уровне 0,0002–0,01 г/т.

Определялись содержания 42 элементов. Для вскрытия проб горных пород, в зависимости от свойств определяемых элементов, использовались два способа. Метод сплавления пробы с метаборатом лития является наилучшим для анализа на редкоземельные элементы, тугоплавкие металлы, некоторые другие элементы и применялся для определения содержаний Ba, Be, Ce, Cr, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zr. Метод «полного» разложения проб смесью концентрированных кислот и окислителей основан на реакциях компонентов пробы с кислотами и образованием солей, растворимых в разбавленной азотной кислоте. Данный способ оптимален для определения элементов, образующих легколетучие соединения и применялся для определения концентраций Ag, Bi, Co, Cu, Li, Ni, Pb, Sb, Sc, Zn.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ (2022–2024 гг.)

Исследованиями в 2022–2024 гг. была охвачена вся территория России. Приоритетными являлись горноскладчатые регионы, обладающие значительным металлогеническим потенциалом. Выбору объектов предшествовал комплексный анализ геологического строения и изученности территорий. Предпочтение отдавалось рудоносным комплексам, петротипическим объектам либо объектам, получение новой информации по которым давало возможность разрешения каких-либо ключевых проблем геологического строения или металлогении региона.

Датирование магматических и метаморфических комплексов с сопутствующим комплексом аналитических исследований проведено в 500 опорных пунктах (рис. 1). Полученные результаты оперативно использовались при уточнении схем корреляции магматизма и метаморфизма, составлении новых и обновлении существующих ГК среднего и мелкого масштаба, сводных и обзорных карт России, во многих случаях способствовали значительному прогрессу в части реконструкции металлогенической эволюции и геологической истории развития регионов.

Так, например, для раннепалеозойских гранитоидных интрузий центральной части Кузнецкого Алатау (Алтае-Саянская складчатая область), с которыми связаны многочисленные промышленно значимые месторождения, в первую очередь золоторудные

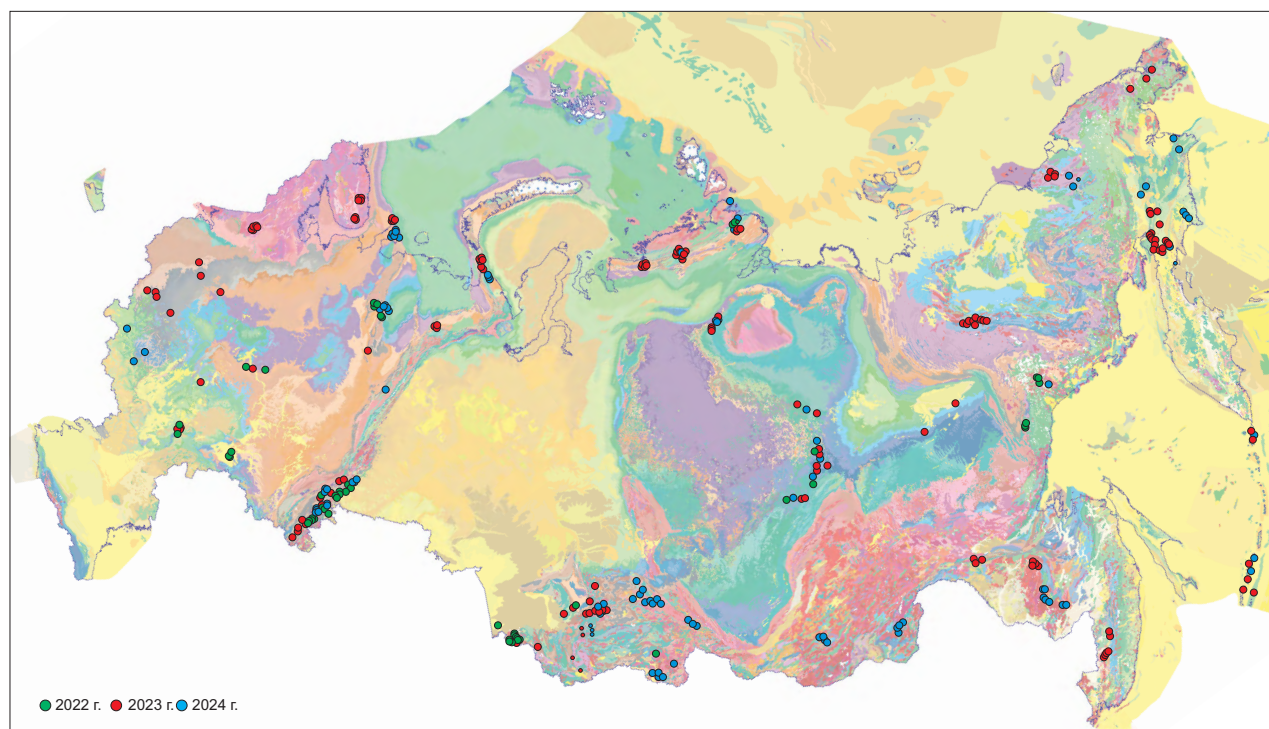


Рис. 1. Расположение пунктов геохронологических и изотопно-геохимических исследований геологических комплексов в 2022–2024 гг.

Fig. 1. Location of geochronological, isotope, and geochemical research points of geological complexes in 2022–2024

и молибден-порфировые, получено 30 новых U-Pb датировок, выполненных методом SIMS с использованием прибора SHRIMP-IIe. Привлечение ретроспективной информации по региону в части изотопного датирования [1; 5; 7; 8; 10; 13–15; 21–25; 29–32], а также комплексный анализ геохронологических данных и геохимических материалов позволили в значительной мере уточнить существующую схему корреляции магматических комплексов Кузнецкого Алатау и обосновать шесть этапов раннепалеозойского магматизма (рис. 2).

Ранне-среднекембрийский этап ( $515 \pm 3$  —  $502 \pm 3$  млн лет) представлен диорит-гранодиоритовой ассоциацией с островодужными характеристиками (садринский, мартайгинский? комплексы). К среднему кембрию — раннему ордовика приурочено становление гранодиорит-гранитных батолитов (Тигертышский, Уйбатский, Улень-Туимский и др.) аккреционно-коллизивной природы тигертышского комплекса с двумя фазами внедрения ( $499 \pm 4$  —  $484 \pm 5$  и  $480 \pm 3$  —  $468 \pm 4$  млн лет).

С гранитными батолитами пространственно сопряжены более мелкие, почти одновозрастные интрузии габбро-монцодиорит-сиенитового состава, формирование которых предположительно связывается с деятельностью раннепалеозойского плюма [19]. Они подразделяются на когтахский габбро-монцодиоритовый с сиенитами комплекс среднекембрийского возраста ( $496 \pm 3$  —  $505 \pm 5$  млн лет) и юлинский сиенит-граносиенитовый комплекс позднего кембрия — раннего ордовика ( $471 \pm 3$  —  $492 \pm 4$  млн лет).

Особую проблему представляет определение возраста гранитоидов, с которыми в Кузнецком Алатау сопряжено молибденовое оруденение промышленных масштабов (Сорское, Агаскырское, Ипчульское месторождения и серия проявлений) [3; 27]. Рудоносные интрузии пространственно связаны с гранитами тигертышского комплекса, образуют среди них небольшие (менее 5–7 км<sup>2</sup>) гипабиссальные интрузивы, трещинные плитообразные тела и штоки (сорская «каркасная» интрузия), отличаются повышенной щелочностью, представлены мелко- и тонкозернистыми, редко среднезернистыми граносиенитами, кварцевыми сиенитами, сиенитами, умереннощелочными гранитами и лейкогранитами, часто их порфировыми разностями [2; 20; 26].

Время формирования и объем этого рудоносного комплекса дискуссионны. Результаты Ar-Ar датирования пород Сорского месторождения показывают широкий разброс возрастов в интервале от ордовика до раннего девона [26]. U-Pb-датирование пород также не привело к однозначным выводам. Полученные данные свидетельствуют о длительном развитии рудно-магматической системы в интервале от среднего кембрия до карбон-пермского времени [1].

Дополнительные геохронологические исследования (U-Pb метод SIMS с применением SHRIMP-II) в рамках настоящего проекта пород Сорского и близлежащих интрузивных массивов, анализ совокупных изотопно-геохимических данных позволили ограничить возраст рудоносной интрузии интервалом  $449 \pm 3$  —  $466 \pm 3$  млн лет O<sub>2-3</sub>. При этом так называемые «рудные порфиры» (грейзенизированные



лейкогранит-порфиры, умереннощелочные лейкогранит-порфиры с молибденовой минерализацией) характеризуются наиболее молодыми изотопными возрастами и достаточно узким временным интервалом  $451 \pm 3$  —  $449 \pm 3$  млн лет (рис. 3).

По результатам настоящей работы эту интрузивную ассоциацию предлагается обособить в самостоятельный сорский сиенит-граносиенит-субщелочно-лейкогранитовый комплекс  $O_{2-3}$ . Его формирование предполагается в обстановке трансформной континентальной окраины Сибирского палеоконтинента. Другая точка зрения предусматривает участие в генезисе пород мантийного плюма [3].

Завершают раннепалеозойский магматизм в Кузнецком Алатау схожие по облику и составу с сорским комплексом гипабиссальные гранитоиды с возрастом  $423 \pm 3$  —  $433 \pm 4$  млн лет  $S_{1-2}$  (саксырский комплекс).

Другой пример касается джебашской зеленосланцевой толщи, имеющей широкое распространение в Западном Саяне и рассматривающейся в качестве элемента аккреционной призмы венд-кембрийской островной дуги, о чем, в частности, свидетельствуют проявления высокобарного метаморфизма среди зеленых сланцев [17; 18]. Вопрос о возрасте зеленосланцевого комплекса, природе субстрата и метаморфизма является предметом длительных дискуссий. С учетом скудных палеонтологических остатков (микрофитолиты, микрофоссилии) возраст толщи условно принимается в интервале поздний венд — нижний кембрий (томмот) [9]. Высокобарический метаморфизм, по данным  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -исследований фенгита и глаукофана из сланцев джебашской серии, датируется ордовикским ( $464,1 \pm 9,7$  млн лет) [4].

В рамках настоящей Программы проведено U-Pb изотопное датирование с помощью лазерной абляции детритовых цирконов из зеленых сланцев джебашской серии в разрезе по р. Енисей (ниже Саяно-Шушенской ГЭС). В результате исследований установлено, что минимальный возраст детритовых зерен магматического генезиса в сланцах составляет 497–481 млн лет ( $\mathcal{C}_3$ ) (рис. 4). Из этого следует, что возраст осадков, которые служили протолитом сланцев, не может быть древнее верхнего кембрия и что в качестве таковых могли служить сопряженные с джебашской серией и обладающие схожими строением разрезов и текстурой флишеидные фации малоабаканской  $V-\mathcal{C}_1$ , кохошской  $\mathcal{C}_1$ ? и каратошской  $\mathcal{C}_{2-3}$  толщ. Можно также отметить хорошую сходимость спектра распределения возрастов детритовых зерен циркона джебашской толщи и горноалтайской серии  $\mathcal{C}_1-\mathcal{C}_{2-3}$  [6].

Для каждого изученного в рамках Программы геологического объекта предусматривается составление итогового документа — Паспорта, который суммирует результаты петрологических, изотопно-геохимических и геохронологических исследований, содержит краткие сведения по изученному объекту (географическая и координатная привязка, геологическая позиция, формационная принадлежность и другие сведения). Информация включает поясняющий текст, фрагменты карт, таблицы, схемы, графики, фотографии и другие элементы, иллю-

стрирующие результаты исследований. Примеры паспортов для различных типов геологических комплексов приведены в дополнительных материалах к статье. В дальнейшем планируется публикация сборников Паспортов, сгруппированных по регионам РФ. Работами также предусмотрена интеграция результатов с электронным ресурсом ФГБУ «Институт Карпинского» «Геохронологический атлас-справочник» [<http://geochron.karpinskyinstitute.ru/>].

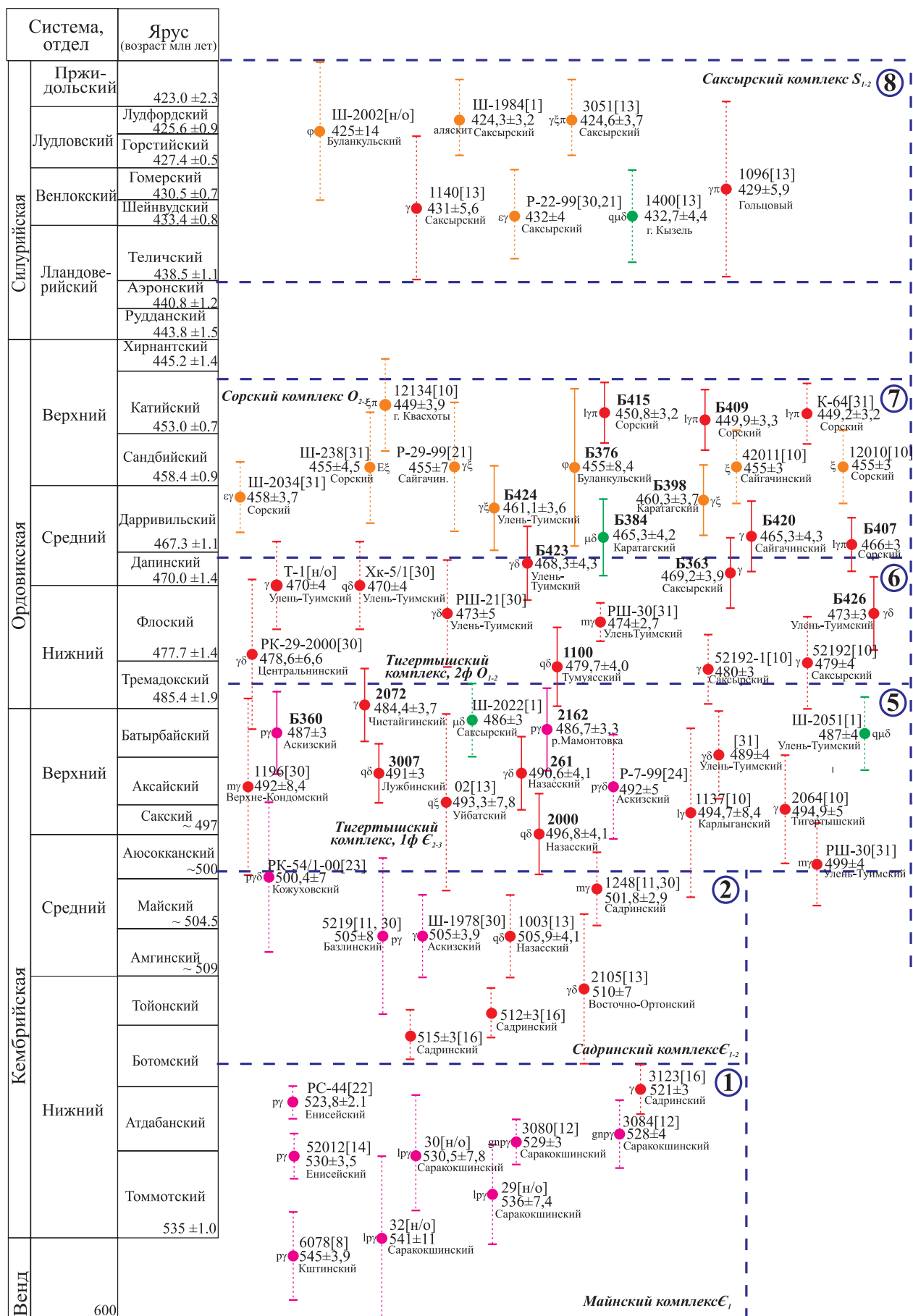
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая положительный опыт первого этапа систематических исследований, очевидную важность геохронологических и изотопно-геохимических работ для дальнейшего развития государственного геологического картирования с выходом на качественно новый уровень, планируется продолжение подобных работ в рамках постоянно действующей государственной программы. При этом анализ состояния дел в этой области позволяет на данном этапе сформулировать ряд актуальных задач, связанных с обеспечением государственных карт нового поколения результатами современных аналитических исследований, их систематизацией и применением в практике региональных геологических работ.

1. Появилось огромное количество новой высококачественной и высокоточной аналитической информации, имеющей большое геологическое значение. Объем новой информации на порядок превышает количество результатов, полученных за все предыдущие годы. Предстоит большая работа по систематизации и осмыслению этой информации, для чего необходимо создание специальной постоянно действующей рабочей группы экспертов ФГБУ «Институт Карпинского» при Научно-редакционном совете по геологическому картированию территории Российской Федерации Федерального агентства по недропользованию.

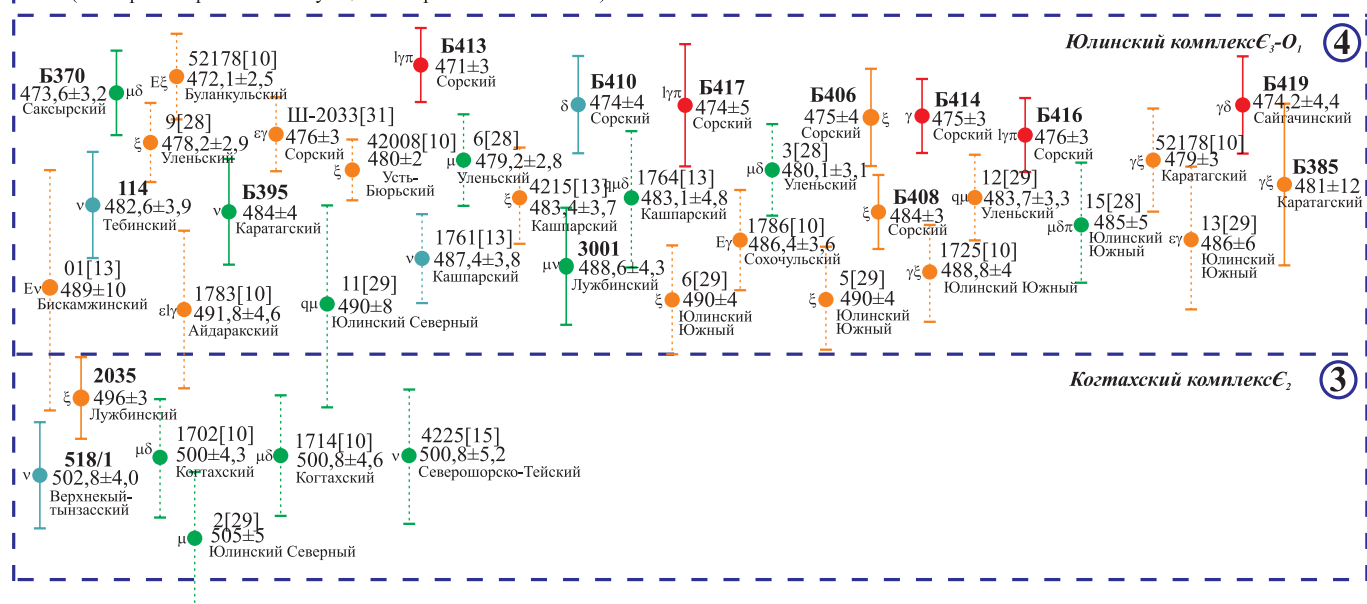
2. В ряде случаев существовавшие геологические модели строения территорий оказались несостоятельными и требуют переосмысления. Серийные легенды часто нуждаются не только в коррекции, но и в кардинальном пересмотре, что определяет необходимость проведения целенаправленной работы по их совершенствованию на всей территории РФ, с переводом этого направления в перспективе в режим текущего мониторинга.

3. Стала очевидной актуальность проведения специальных опытно-методических работ на типовых геологических структурах (полигонах), главным образом полихронных — полиметаморфических, ремобилизованных и многостадийных. Такие работы дадут ответ о применимости конкретного комплекса методов изотопного анализа к изучению индикативных геологических процессов, позволят разработать и внедрить новые эффективные подходы исследований, начиная с первичного геологического изучения объекта и его опробования, заканчивая интерпретацией и имплементацией изотопной информации. Проведение опытно-методических работ позволит



### Этапы гранитоидного магматизма:

- ①  $545 \pm 3, 9 - 521 \pm 3$  млн лет  $E_1$   
(майнский, саракокшинский тоналит-плагиогранитные комплексы)
- ②  $515 \pm 3 - 501, 8 \pm 2, 9$  млн лет  $E_{1-2}$   
(садринский, матрайгинский габбро-диорит-гранодиоритовые комплексы)
- ③  $505 \pm 5 - 496 \pm 3$  млн лет  $E_2$   
(когдахский габбро-монцодиоритовый комплекс)
- ④  $491, 8 \pm 4, 6 - 471 \pm 3$  млн лет  $E_3 - O_1$   
(юлинский монцодиорит-сиенит-граносиенитовый комплекс)
- ⑤  $499 \pm 4 - 484, 4 \pm 3, 7$  млн лет  $E_{2-3}$   
(тигертышский монцодиорит-гранодиорит-гранитный комплекс, 1 фаза: диориты, монцодиориты, гранодиориты, меланограниты)
- ⑥  $480 \pm 3 - 468, 3 \pm 4, 3$  млн лет  $O_{1-2}$   
(тигертышский монцодиорит-гранодиорит-гранитный комплекс, 2 фаза: гранодиориты, граниты)
- ⑦  $466 \pm 3 - 449, 2 \pm 3, 2$  млн лет  $O_{2-3}$   
(сорский сиенит-граносиенит субщелочнолейкогранитный комплекс)
- ⑧  $432, 7 \pm 4, 4 - 424, 3 \pm 3, 2$  млн лет  $S_{1-2}$   
(саксырский граносиенит-субщелочногранитный комплекс)



### Условные обозначения

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Ретроспективные данные:</b><br/>         К-64- номер пробы, [10]- номер источника информации по списку, 449,2±3,2- измеренный возраст (млн лет), Сорский- наименование массива, <math>\text{лут}</math>- порода</p> <p><b>Авторские данные:</b><br/>         Б407- номер пробы, 466±3- измеренный возраст (млн лет), Сорский- наименование массива, <math>\text{лут}</math>- порода</p> | <p><b>Породные ассоциации</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Граниты, меланограниты, лейкограниты, гранодиориты, кварцевые диориты</li> <li>● Тоналиты, плагиограниты, кварцевые диориты</li> <li>● Сиениты, граносиениты, умереннощелочные граниты, щелочные породы</li> <li>● Умереннощелочные базиты, монцодиориты, монциты</li> <li>● Габбро, диориты (толеитовая серия)</li> </ul> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Рис. 2. Результаты изотопного (U-Pb) датирования (SIMS SHRIMP-IIe, ID-TIMS, LA-ICP-MS) магматических пород Кузнецкого Алатау и прилегающих территорий

Fig. 2. Results of isotope (U-Pb) dating (SIMS SHRIMP-IIe, ID-TIMS, LA-ICP-MS) of igneous rocks of the Kuznetsk Alatau and adjacent areas



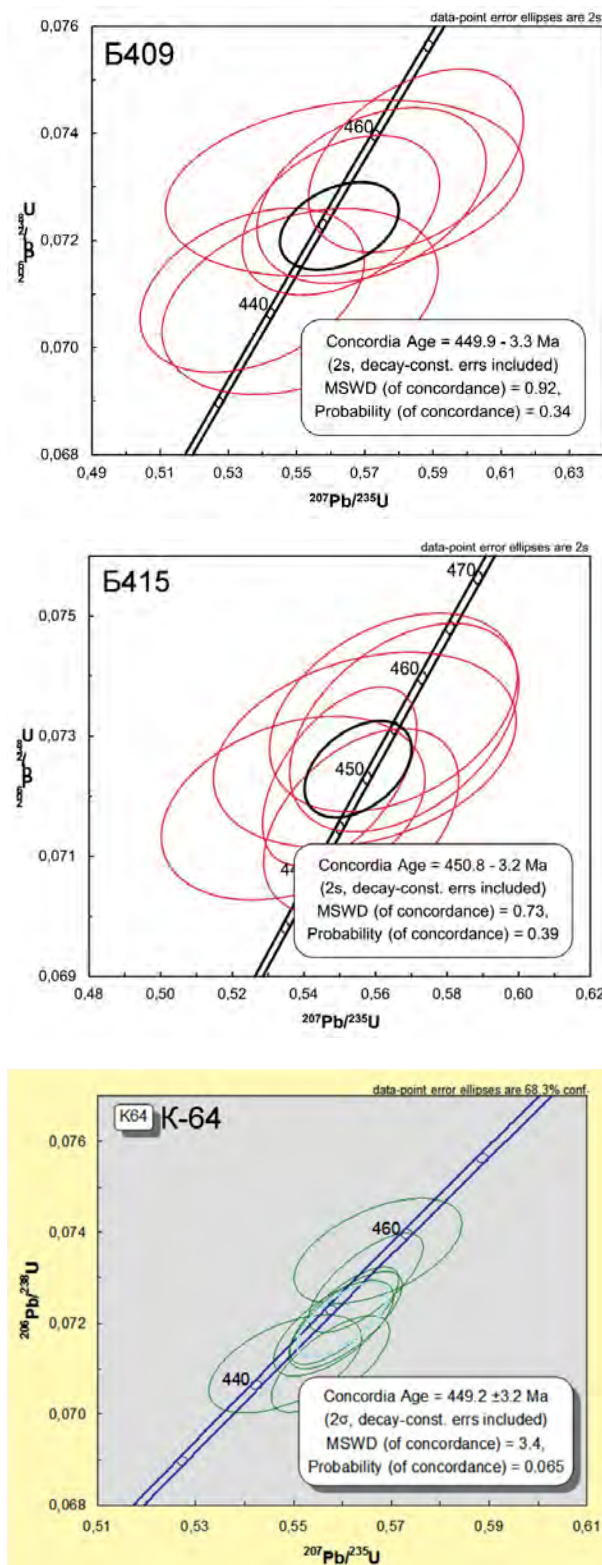


Рис. 3. Диаграммы с конкордиями для цирконов «рудных порфиров» сорского комплекса (Сорский массив, Сорское молибденовое месторождение)

Источник: составлено авторами Г. А. Бабиным, А. Г. Пахалко, М. Э. Кутыревой, С. А. Сергеевым, источник пробы К-64: [32]

Fig. 3. Concordia diagrams for zircons of the "ore porphyries" of the Sorsk Complex (Sorsk Massif, Sorsk molybdenum deposit)

Source: by the authors G. A. Babin, A. G. Pakhalko, M. E. Kuttyreva, S. A. Sergeev, source of sample K-64: [32]

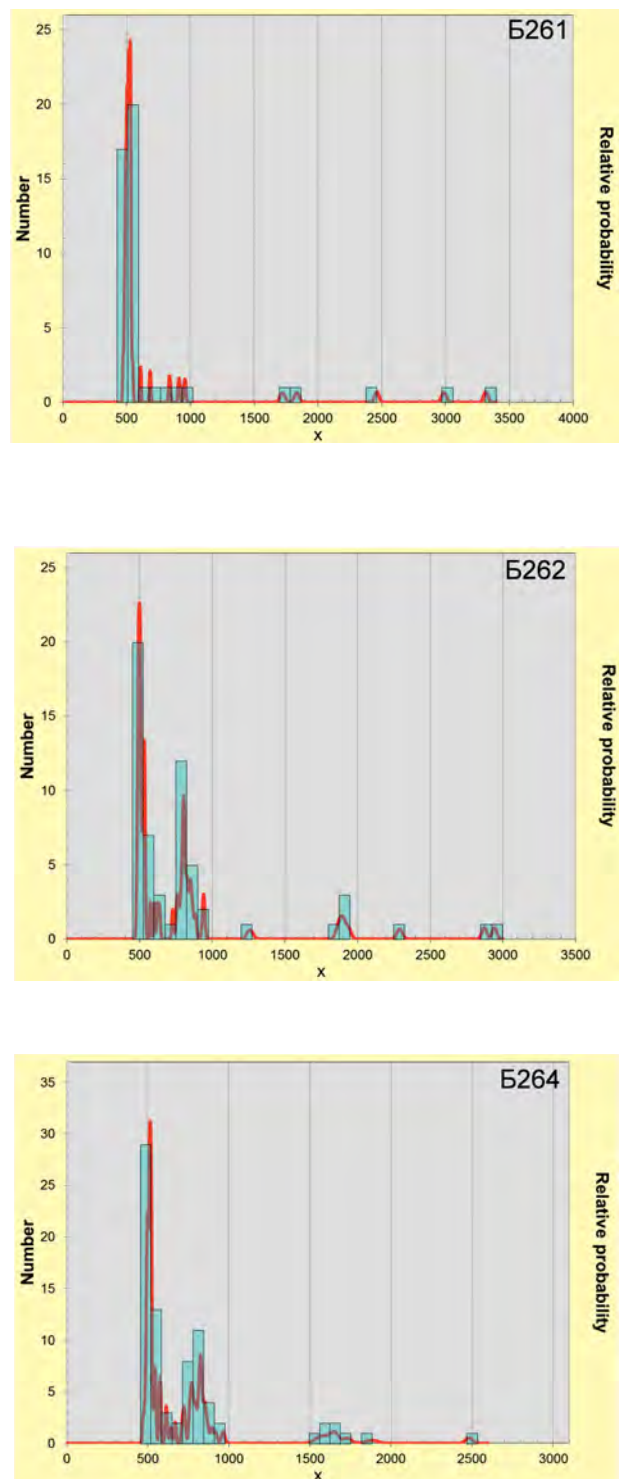


Рис. 4. Гистограммы частоты встречаемости и кривые относительной вероятности возрастов цирконов из зеленых сланцев джебашской серии (пробы B261, B262, B264)

Fig. 4. Bar charts of occurrence frequency and relative probability curves of zircon ages from greenschists of the Dzhebash series (samples B261, B262, B264)

разработать и внедрить дополнительные высокоэффективные методы исследования, реализация которых возможна с использованием имеющегося оборудования (изотопные систематики Li, Cu, Ni, Ag, Lu-Hf, La-Ce в породах и минералах, C, O, N, S во включениях в минералах и др.).

4. Назрела необходимость разработки унифицированного комплекса современных лабораторно-аналитических исследований, необходимого для получения полномасштабного и научно-адекватного геологического знания о конкретной территории (например, лист Государственный геологической карты) и обязательного для применения при расходовании средств государственного бюджета. Результаты этих исследований должны составить основу новых региональных схем корреляции геологических событий и процессов рудообразования.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм западной части АССО и молибденовое оруденение / Г. А. Бабин [и др.] // Геодинамическая эволюция Центрально-Азиатского подвижного пояса. Материалы совещания. Вып. 6. Т. 1. Иркутск : ИЗК СО РАН, 2008. С. 27–31.
2. Сорский Cu-Мо-порфировый магматический центр (Кузнецкий Алатау): о связи базитов и гранитоидов по Sm-Nd-изотопным и геохимическим данным / А. П. Берзина [и др.] // Докл. РАН. 2010. Т. 430, № 1. С. 78–84.
3. Берзина А. П., Берзина А. Н., Гимон В. О. Сорское Cu-Мо-порфировое месторождение (Кузнецкий Алатау): магматизм, влияние мантийного плюма на развитие рудно-магматической системы // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 12. С. 1974–1986.
4. Глаукофановые сланцы Куртушибинского хребта: геохимия, природа протолита, возраст / Н. И. Волкова [и др.] // Геодинамическая эволюция Центрально-Азиатского подвижного пояса. Мат. совещ. Вып. 6. Т. 1. Иркутск : ИЗК СО РАН, 2008. С. 71–73.
5. Эволюция палеозойского гранитоидного магматизма Кузнецкого Алатау / В. В. Врублевский [и др.] // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 4. С. 287–311. <https://doi.org/10.15372/GiG20160202>.
6. Гусев Н. И., Шокальский С. П., Гусев А. И. Магматизм и меднопорфировое оруденение месторождения Кульбич, Горный Алтай // Региональная геология и металлогения. 2011. № 46. С. 85–97.
7. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Минусинская. Лист N-45-XXIV (Шира). Объяснительная записка / М. Н. Секретарев, А. П. Липишанов. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2001. 170 с.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-45 — Новокузнецк. Объяснительная записка / Г. А. Бабин [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2007. 665 с.
9. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Лист N-46 — Абакан. Объяснительная записка / В. В. Беззубцев [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2008. 391 с.
10. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Минусинская. Лист N-46-XXIX — Усть-Бурь. Объяснительная записка / А. Д. Котельников [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2018. 330 с. (в печати).
11. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Кузбасская. Лист N-45-XXXV — Чаныш. Объяснительная записка / Г. А. Бабин [и др.]. М. : Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2018. 200 с.
12. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Горно-Алтайская. Лист M-45-IV. Объяснительная записка / О. М. Попова [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2018. 402 с. (в печати).
13. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Минусинская. Лист N-45-XXIV — Балыкса. Объяснительная записка / А. Д. Котельников [и др.]. М. : Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2019. 187 с. URL: [http://geo.mfvsegei.ru/200k/Zap/Zap\\_N-45-XXIV.pdf](http://geo.mfvsegei.ru/200k/Zap/Zap_N-45-XXIV.pdf) (дата обращения 21.11.2024).
14. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Западно-Саянская. Лист N-46-XXVI — Саяногорск. Объяснительная записка / Т. А. Шаталина [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2019. 224 с.
15. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Минусинская. Лист N-45-XXX — Таштып. Объяснительная записка / А. Д. Котельников [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2020. 375 с. (в печати).
16. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Горно-Алтайская. Лист N-45-XXXIV. Объяснительная записка / О. М. Попова [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2024. 565 с. (в печати).
17. Добрецов Н. Л., Пономарева Л. Г. Офиолиты и глаукофановые сланцы Западного Саяна и Куртушибинского пояса // Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна). Труды ИГиГ. Вып. 407. Новосибирск : Наука, 1977. С. 128–156.
18. Экологиты и глаукофановые сланцы в складчатых областях / Н. Л. Добрецов [и др.]. Новосибирск : Наука, 1989. 235 с.
19. Позднеордовикский возраст камптонитов агардагского комплекса Юго-Восточной Тувы — свидетельство проявления плюмового магматизма при коллизионных процессах / А. Э. Изох [и др.] // Докл. РАН. 2001. Т. 379, № 5. С. 511–514.
20. Перфилова О. Ю. Металлогеническая специализация палеозойских интрузивных комплексов восточного склона Кузнецкого Алатау (на примере Сорского и Коммунарского рудных районов) // Проблемы металлогении юга западной Сибири. Томск : Томский государственный университет, 1999. С. 52–55.
21. Раннепалеозойские гранитоидные батолиты Алтае-Саянской складчатой области / С. Н. Руднев [и др.] // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Мат-лы Всероссийской научной конф. Вып. 3. Т. 1. Томск, 2002. С. 201–207.
22. Руднев С. Н., Крук Н. Н., Куйбида М. Л. Плагиограниты Алтае-Саянской складчатой области: возрастные рубежи, особенности вещественного состава и источники расплавов // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса. Мат-лы совещания. Т. 2. Иркутск : ИЗК СО РАН, 2005. С. 81–84.
23. Раннепалеозойские батолиты северной части Кузнецкого Алатау: вещественный состав, возраст и источники / С. Н. Руднев [и др.] // Петрология. 2008. Т. 16, № 4. С. 421–448.
24. Ранние этапы островодужного плагиогранитоидного магматизма Горной Шории и Западного Саяна / С. Н. Руднев [и др.] // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 1. С. 27–44.
25. Руднев С. Н. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Алтае-Саянской складчатой области и Озерной зоны Западной Монголии / отв. ред. Г. В. Поляков. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2013. 300 с.
26.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  геохронология магматических и метасоматических событий в Сорском Cu-Мо-порфировом рудном узле (Кузнецкий Алатау) / В. И. Сотников [и др.] // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 5. С. 786–801.

27. Хомичев В. Л., Ломаев В. Г. Сорское медно-молибденовое месторождение. 2-е изд., переработанное. Новосибирск : СНИИГГиМС. 2013. 264 с.

28. Хубанов В. Б., Буянтуев М. Д., Цыганков А. А. U-Pb изотопное датирование цирконов из PZ<sub>3</sub>-MZ магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставление с SHRIMP данными // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 1. С. 241–258. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-5-690-705>.

29. The Glafirinskoe and related skarn Cu-Au-W-Mo deposits in the Northern Altai, SW Siberia, Russia: Geology, igneous geochemistry, zircon U-Pb geochronology, mineralization, and fluid inclusion characteristics / S. G. Soloviev [et al.] // Ore Geology Reviews. 2021. No. 138. 104382. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104382>.

30. Geology, mineralization, igneous geochemistry, and zircon U-Pb geochronology of Early Paleozoic shoshonite-related Julia skarn deposit, SW Siberia, Russia / S. G. Soloviev [et al.] // Ore Geology Reviews. 2022. Vol. 142. 25 p. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104706>.

31. Сводный отчет Изотопное датирование рудоносных магматических и метаморфических комплексов Алтае-Саянской складчатой области для Госгеокарты-1000 (по результатам работ за период с 01.01.99 г. по 31.12.2001 г.). В 2-х кн. / А. Г. Владимиров [и др.]. Новосибирск, 2002ф. ОФ ИГиМ СО РАН. 970 с.

32. Салтыкова Т. Е. Геологический отчет о результатах работ по объекту: «Изотопно-геохимическое и геохронологическое обеспечение Государственного геологического картирования масштаба 1 : 1 000 000». В 3 кн. СПб., 2008. ОФ ВСЕГЕИ.

## REFERENCES

1. Early Paleozoic granitoid magmatism of the western part of the ASSO and molybdenum mineralization / G. A. Babin [et al.]. *Geodynamic evolution of the Central Asian mobile belt. Proc. conference. Issue. 6. Vol. 1.* Irkutsk: IEC SB RAS; 2008. P. 27–31. (In Russ.).

2. Sorsk Cu-Mo-porphyry magmatic center (Kuznetsk Alatau): on the connection between mafic rocks and granitoids according to Sm-Nd isotope and geochemical data / A. P. Berzina [et al.]. *Reports of the Academy of Sciences.* 2010; 430 (1): 78–84. (In Russ.).

3. Berzina A. P., Berzina A. N., Gimon V. O. Sorskoye Cu-Mo porphyry deposit (Kuznetsk Alatau): magmatism, influence of mantle plume on the development of the ore-magmatic system. *Geology and Geophysics.* 2011; 52 (12): 1974–1986. (In Russ.).

4. Glauconite schists of the Kurtushibinsky ridge: geochemistry, nature of the protolith, age / N. I. Volkova [et al.]. *Geodynamic evolution of the Central Asian mobile belt. Mat. meeting Iss. 6. Vol. 1.* Irkutsk: IEC SB RAS; 2008. pp. 71–73. (In Russ.).

5. Evolution of Paleozoic granitoid magmatism of the Kuznetsk Alatau / V. V. Vrublevsky [et al.]. *Geology and Geophysics.* 2016; 57 (4): 287–311. <https://doi.org/10.15372/GIG20160202> (In Russ.).

6. Gusev N. I., Shokal'skiy S. P., Gusev A. I. Magmatism and porphyry copper mineralization of the Kulbich deposit, Gorny Altai. *Regional Geology and Metallogeny.* 2011; (46): 85–97. (In Russ.).

7. State Geological Map of the Russian Federation, scale 1 : 200,000. Second edition. Minusinsk Series. Sheet N-45-XVIII — Shira. Explanatory note / M. N. Sekretarev, A. P. Lipishanov. St. Petersburg: VSEGEI Map Factory; 2001. 170 p. (In Russ.).

8. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Altai-Sayan Series. Sheet N-45 — Novokuznetsk. Explanatory Note / G. A. Babin [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2007. 665 p. (In Russ.).

9. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Sheet N-46 — Abakan.

Explanatory Note / V. V. Bezzubtsev [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2008. 391 p. (In Russ.).

10. State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 200,000. Second edition. Minusinsk Series. Sheet N-46-XIX — Ust-Byur. Explanatory Note / A. D. Kotelnikov [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2018. 330 p. (In print). (In Russ.).

11. State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 200,000. Second edition. Kuzbass Series. Sheet N-45-XXXV — Chanysh. Explanatory Note / G. A. Babin [et al.]. Moscow: Moscow Branch of the Federal State Budgetary Institution VSEGEI; 2018. 200 p. (In Russ.).

12. State Geological Map of the Russian Federation, scale 1 : 200,000. Second edition. Gorno-Altayskaya series. Sheet M-45-IV. Explanatory Note / O. M. Popova [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2018. 402 p. (In Russ.).

13. State Geological Map of the Russian Federation, scale 1 : 200,000. Second edition. Minusinskaya Series. Sheet N-45-XXIV — Balyksa. Explanatory Note / A. D. Kotelnikov [et al.]. Moscow: Moscow Branch of VSEGEI; 2019. 187 p. URL: [http://geo.mfvsegei.ru/200k/Zap/Zap\\_N-45-XXIV.pdf](http://geo.mfvsegei.ru/200k/Zap/Zap_N-45-XXIV.pdf) (accessed 21.11.2024). (In Russ.).

14. State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 200,000. Second edition. West Sayan Series. Sheet N-46-XXVI — Sayanogorsk. Explanatory Note / T. A. Shatalina [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory; 2019. 224 p. (In Russ.).

15. State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 200,000. Second edition. Minusinsk Series. Sheet N-45-XXX — Tashtyp. Explanatory Note / A. D. Kotelnikov [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory; 2020. 375 p. (In press). (In Russ.).

16. State Geological Map of the Russian Federation, scale 1 : 200,000. 2nd ed. Gorno-Altai Series, sheet N-45-XXXIV. Explanatory Note / O. M. Popova [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2024. 565 p. (In press). (In Russ.).

17. Dobretsov N. L., Ponomareva L. G. Ophiolites and glaucophane schists of the Western Sayan and Kurtushibinsky belt. *Petrology and metamorphism of ancient ophiolites (using the Polar Urals and Western Sayan as an example). Proceedings of the Institute of Geology and Geophysics. Iss. 407.* Novosibirsk: Nauka; 1977. P. 128–156. (In Russ.).

18. Eclogites and glaucophane schists in folded areas / N. L. Dobretsovy [et al.]. Novosibirsk: Nauka; 1989. 235 p. (In Russ.).

19. Late Ordovician age of camptonites of the Agardag complex of Southeastern Tuva — evidence of plume magmatism during collision processes / A. E. Izokh [et al.]. *Reports of the Russian Academy of Sciences.* 2001; 379 (5): 511–514. (In Russ.).

20. Perfilova O. Yu. Metallogenic specialization of Paleozoic intrusive complexes of the eastern slope of the Kuznetsk Alatau (on the example of the Sorsky and Kommunarovsky ore regions). *Problems of metallogeny of the south of Western Siberia.* Tomsk: Tomsk State University; 1999. P. 52–55. (In Russ.).

21. Early Paleozoic granitoid batholiths of the Altai-Sayan folded region / S. N. Rudnev [et al.]. *Petrology of igneous and metamorphic complexes. Proc. of the All-Russian scientific conf. Iss. 3. Vol. 1.* Tomsk; 2002. P. 201–207. (In Russ.).

22. Rudnev S. N., Kruk N. N., Kuibida M. L. Plagiogranites of the Altai-Sayan folded region: age boundaries, features of material composition and melt sources. *Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt. Mat. meeting. Vol. 2.* Irkutsk: IEC SB RAS; 2005. P. 81–84. (In Russ.).

23. Early Paleozoic batholiths of the northern part of the Kuznetsk Alatau: material composition, age and sources / S. N. Rudnev [et al.]. *Petrology.* 2008; 16 (4): 421–448. (In Russ.).

24. Early stages of island-arc plagiogranitoid magmatism in Mountain Shoria and Western Sayan / S. N. Rudnev [et al.]. *Geology and Geophysics.* 2013; 54 (1): 27–44. (In Russ.).

25. Rudnev S. N. Early Paleozoic granitoid magmatism of the Altai-Sayan folded region and the Lake zone of Western Mongolia / Ed. G. V. Polyakov. Novosibirsk: Publishing house



of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2013. 300 p. (In Russ.).

26.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of magmatic and metamorphic events in the Sorsky Cu-Mo porphyry ore cluster (Kuznetsk Alatau) / V. I. Sotnikov [et al.]. *Geology and Geophysics*. 2001; 42 (5): 786–801. (In Russ.).

27. Khomichev V. L., Lomaev V. G. Sorskoye copper-molybdenum deposit. 2nd ed., revised. Novosibirsk: SNIIGiMS; 2013. 264 p. (In Russ.).

28. Khubanov V. B., Buyantuev M. D., Tsygankov A. A. U-Pb isotope dating of zircons from PZ3-MZ igneous complexes of Transbaikalia by magnetic sector mass spectrometry with laser sampling: determination procedure and comparison with SHRIMP data. *Geology and Geophysics*. 2016; 57 (1): 241–258. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-5-690-705> (In Russ.).

29. The Glafirinskoe and related skarn Cu-Au-W-Mo deposits in the Northern Altai, SW Siberia, Russia: Geology, igneous geochemistry, zircon U-Pb geochronology, mineralization, and

fluid inclusion characteristics / S. G. Soloviev [et al.]. *Ore Geology Reviews*. 2021; (138): 104382. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104382>.

30. Geology, mineralization, igneous geochemistry, and zircon U-Pb geochronology of Early Paleozoic shoshonite-related Julia skarn deposit, SW Siberia, Russia / S. G. Soloviev [et al.]. *Ore Geology Reviews*. 2022; (142): 25. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104706>.

31. Summary report Isotope dating of ore-bearing igneous and metamorphic complexes of the Altai-Sayan folded region for the State Geomap-1000 (based on the results of work for the period from 01.01.99 to 31.12.2001). In 2 books / A. G. Vladimirov [et al.]. Novosibirsk; 2002f. OF IGIM SB RAS. 970 p. (In Russ.).

32. Saltykova T. E. Geological REPORT on the results of work on the object: "Isotope-geochemical and geochronological support for the State Geological Mapping at a scale of 1 : 1,000,000". In 3 books. St. Petersburg; 2008. OF VSEGEI.

## Геннадий Алексеевич Бабин

Кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий отделом

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0002-5992-3750>  
SPIN-код РИНЦ 4675-1155  
Gennadiy\_Babin@karpinskyinstitute.ru

## Алексей Геннадьевич Пахалко

Ведущий инженер

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-3102-6794>  
SPIN-код РИНЦ 2206-7442  
Aleksey\_Pahalko@karpinskyinstitute.ru

## Анна Алексеевна Соболева

Кандидат геолого-минералогических наук,  
доцент, ведущий научный сотрудник

Институт геологии имени Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия

Scopus Author ID 6602728500  
ResearcherID J-9298-2018  
SPIN-код РИНЦ 8272-7400  
РИНЦ Author ID 61678  
aa\_soboleva@mail.ru

## Александра Евгеньевна Цыбульская

Ведущий геолог

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Aleksandra\_Tsybulskaya@karpinskyinstitute.ru

## Gennady A. Babin

PhD (Geology and Mineralogy),  
Head of Department

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0002-5992-3750>  
RSCI SPIN-code 4675-1155  
Gennadiy\_Babin@karpinskyinstitute.ru

## Aleksey G. Pakhalko

Leading Engineer

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-3102-6794>  
RSCI SPIN-code 2206-7442  
Aleksey\_Pahalko@karpinskyinstitute.ru

## Anna A. Soboleva

PhD (Geology and Mineralogy),  
Associate Professor, Leading Researcher

Institute of Geology of the Komi Science Center  
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Syktvykar, Russia

Scopus Author ID 6602728500  
ResearcherID J-9298-2018  
RSCI SPIN-code 8272-7400  
RSCI Author ID 61678  
aa\_soboleva@mail.ru

## Aleksandra E. Tsybulskaya

Leading Geologist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

Aleksandra\_Tsybulskaya@karpinskyinstitute.ru

## Марина Эдуардовна Кутырева

Заместитель заведующего отделом

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Marina\_Kutyreva@karpinskyinstitute.ru

## Галина Андреевна Олейникова

Кандидат химических наук,  
начальник Центральной лаборатории

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

galina\_oleynikova@karpinskyinstitute.ru

## Валентин Борисович Хубанов

Кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий лабораторией

Геологический институт им. Н. Л. Добрецова  
Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ,  
Россия; Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта  
Российской академии наук, Москва, Россия

Scopus Author ID 6507227953

ResearcherID JBR-9586-2023

SPIN-код РИНЦ 3279-8648

РИНЦ Author ID 71232

khubanov@mail.ru

## Сергей Андреевич Сергеев

Кандидат геолого-минералогических наук,  
директор Центра изотопных исследований

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-8460-8715>

Scopus Author ID 35467278500

ResearcherID N-4385-2013

SPIN-код РИНЦ 6353-0561

Sergey\_Sergeev@karpinskyinstitute.ru

## Marina E. Kutyreva

Deputy Head of Department

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

Marina\_Kutyreva@karpinskyinstitute.ru

## Galina A. Oleynikova

PhD (Chemistry),  
Head of Central Laboratory

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

galina\_oleynikova@karpinskyinstitute.ru

## Valentin B. Khubanov

PhD (Geology and Mineralogy),  
Head of Laboratory

Geological Institute named after Academician N. L. Dobretsov,  
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude,  
Russia; Schmidt Institute of Physics of the Earth  
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Scopus Author ID 6507227953

ResearcherID JBR-9586-2023

RSCI SPIN-code РИНЦ 3279-8648

RSCI Author ID 71232

khubanov@mail.ru

## Sergey A. Sergeev

PhD (Geology and Mineralogy),  
Director, Centre of Isotopic Research

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-8460-8715>

Scopus Author ID 35467278500

ResearcherID N-4385-2013

RSCI SPIN-code 6353-0561

Sergey\_Sergeev@karpinskyinstitute.ru

---

**Вклад авторов:** Бабин Г. А., Пахалко А. Г. — концепция публикации, подготовка текста, иллюстраций, дополнительных материалов.  
Сергеев С. А., Олейникова Г. А., Хубанов В. Б. — подготовка текста. Соболева А. А., Цыбульская А. Е. — подготовка дополнительных материалов.  
Кутырева М. Э. — организация работ по проекту, подготовка дополнительных материалов.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** Babin G. A., Pakhalko A. G. — research concept, writing the draft, creating illustrations, preparing supplementary data.  
Sergeev S. A., Oleynikova G. A., Khubanov V. B. — writing the draft. Soboleva A. A., Tsybul'skaya A. E. — preparing supplementary data.  
Kutyreva M. E. — project work organization, preparing supplementary data.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 08.11.2024  
Одобрена после рецензирования 27.11.2024  
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 08.11.2024  
Approved after reviewing 27.11.2024  
Accepted for publication 28.12.2024

Научная статья

УДК 51.72/.73:[551.24+552.11](571.56+571.65)  
doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_73-94**Тектогенез и магматизм протерозоя  
и начала палеозоя Верхояно-Колымской  
складчато-надвиговой области:  
новые данные по результатам геологического  
картографирования масштаба 1 : 1 000 000  
(третье поколение)****В. И. Шпикерман**✉Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,  
[Vladimir\\_Shpikerman@karpinskyinstitute.ru](mailto:Vladimir_Shpikerman@karpinskyinstitute.ru)✉**Ключевые слова:** ранний протерозой,  
рифей, силур, магматизм, граниты,  
структурное несогласие, U-Pb SIMS  
датирование, островные дуги, Сибир-  
ский палеоконтинент, Госгеолкарта-  
1000/3, Северо-Восток России**Для цитирования:** Шпикерман В. И.  
Тектогенез и магматизм протерозоя  
и начала палеозоя Верхояно-Колым-  
ской складчато-надвиговой области:  
новые данные по результатам геологи-  
ческого картографирования масштаба  
1 : 1 000 000 (третье поколение) //  
Региональная геология и металлогения.  
2024. Т. 31, № 4. С. 73–94. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_73-94](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_73-94)

Original article

UDC 51.72/.73:[551.24+552.11](571.56+571.65)  
doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_73-94**Keywords:** Early Proterozoic, Riphean,  
Silurian, magmatism, granites, structural  
unconformity, U-Pb SIMS dating, island arcs,  
Siberian paleocontinent, State Geological  
Map (scale of 1 : 1,000,000 third generation),  
North-East Russia**For citation:** Shpikerman V. I. Tectogene-  
sis and magmatism of the Proterozoic  
and Early Paleozoic Verkhoyansk-Kolyma  
Fold-Thrust region: New geological map-  
ping data, scale of 1 : 1,000,000 (third  
generation). *Regional Geology and Metal-  
logeny*. 2024; 31 (4): 73–94. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_73-94](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_73-94)

© В. И. Шпикерман, 2024

**Аннотация.** В статье приводятся некоторые результаты геологического картографирования масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения в централь-  
ных районах Северо-Востока России. Рассмотрены новые данные по текто-  
ническим структурам и магматическим комплексам, сформировавшимся  
в раннем протерозое, в предвендское и в преддевонское время. В пределах  
Приколымского террейна установлен аналог нижнепротерозойской (верхне-  
карельской) улканской серии юго-восточной части Сибирской платформы.  
Сделан вывод, что, по крайней мере, с конца среднего рифея и до начала  
девона восточная (в современных координатах) окраина Сибири развива-  
лась в основном в активном, скорее всего, островодужном режиме.**Tectogenesis and magmatism  
of the Proterozoic and Early Paleozoic  
Verkhoyansk-Kolyma Fold-Thrust region:  
New geological mapping data,  
scale of 1 : 1,000,000 (third generation)****V. I. Shpikerman**✉All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia, [Vladimir\\_Shpikerman@karpinskyinstitute.ru](mailto:Vladimir_Shpikerman@karpinskyinstitute.ru)✉**Abstract.** The paper informs about the new third-generation geological map-  
ping data at a scale of 1 : 1,000,000 in central regions of North-East Russia.  
There are new data on the Early Proterozoic, Pre-Vendian, and Pre-Devonian  
tectonic structures and igneous complexes. The Prikolymsky Terrane has  
an analogue of the Lower Proterozoic (Upper Karelian) Ulkan Series of the  
southeastern Siberian platform. The eastern margin of Siberia (in modern  
coordinates) is inferred to have developed mainly in an active, most likely  
island-arc, regime at least from the end of the Middle Riphean to the begin-  
ning of the Devonian.



## ВВЕДЕНИЕ

Работы по геологическому картографированию территории Российской Федерации по программе Государственная геологическая карта масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения (далее — Госгеолкарта-1000/3) практически завершена. Они выполнялись строго в рамках номенклатурных проекций (листов) масштаба 1 : 1 000 000. Карты геологического содержания в комплекте каждого листа составлялись по единым методическим требованиям [1]. Это было именно картографирование, т. к. в качестве обязательных элементов в программу входили полевые исследования, использование материалов опорных геолого-геофизических профилей, данных дистанционного зондирования Земли и др. В процессе этих работ широко применялись реализованные лабораторной службой ФГБУ «Институт Карпинского» новейшие лабораторно-аналитические методы. Многого из использованного в работах по программе Госгеолкарта-1000/3 не было в распоряжении российских геологов еще 20–25 лет назад.

В статье приводятся некоторые новые геологические результаты, полученные в процессе геологического картографирования масштаба 1 : 1 000 000 в пределах Верхояно-Колымской складчато-надвиговой области, в состав которой входят: Верхоянский складчато-надвиговой пояс, Кулар-Нерский террейн пассивной континентальной окраины, Иньяли-Дебинский террейн межконтинентального рифтового бассейна, террейны Индигиро-Колымской складчато-надвиговой системы (Омудевский и Приколымский пассивной континентальной окраины), островодужные террейны Алазейско-Олойской складчато-надвиговой системы (Рассошинский, Алазейский, Олойско-Березовский), Охотский и Омолонский кратонные террейны и др. [2–6]. Все перечисленные структурные элементы полностью или частично размещаются на территории Верхояно-Колымской серии листов Госгеолкарты-1000/3, границы которой охватывают большую часть одноименной складчато-надвиговой области (рис. 1). При участии автора в пределах серии составлено 4 листа Госгеолкарты-1000/3. Кроме того, автор проводил экспертизу и редактирование большинства листов серии в качестве главного редактора серийной легенды. Наиболее важные новации в геологическом строении территории Верхояно-Колымской серии, установленные в процессе выполнения программы Госгеолкарты-1000/3, излагаются в геосторической последовательности от древних комплексов к более молодым. В статье приведены новые факты только по наиболее древним (докембрий — первая половина палеозоя) комплексам, поскольку этот интервал геологической истории региона в наименьшей степени освещается в современных публикациях.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Главным исходным материалом для подготовки статьи являются комплекты листов Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 нового

(третьего) поколения, составленные в пределах Верхояно-Колымской серии. При дальнейшем изложении в качестве доказательств и обоснования полученных результатов приводятся фрагменты этих карт, сопровождаемых результатами полевых наблюдений и лабораторно-аналитических исследований. В статье использованы также оригинальные материалы и личные наблюдения автора за несколько десятилетий геологических исследований в регионе.

В материалах статьи приводятся только новые лабораторно-аналитические данные, полученные современными методами в Центре изотопных исследований (далее — ЦИИ) ФГБУ «Институт Карпинского» и в Центральной лаборатории (далее — ЦЛ) института. Датирование геологических объектов в основном проводилось U-Pb SIMS методом на ионном микроанализаторе SHRIMP-II в ЦИИ. Химический состав горных пород определялся рентгено-спектральным флуоресцентным методом на спектрометре ARL 9800ф (силикатный анализ) в ЦЛ. Высокоточное определение содержаний микроэлементов в горных породах выполнялось также в ЦЛ масс-спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) с лазерным пробоотбором (лазерной абляцией).

В связи с ограниченным объемом статьи, при обосновании возраста геологических тел U-Pb SIMS методом приводятся только графики с конкордиями. Исходные таблицы к графикам находятся в электронных базах данных комплекта каждого листа Госгеолкарты-1000/3. Для интерпретации геодинамической природы магматических образований по петрогеохимическим характеристикам нами использованы диаграммы распределения редкоземельных элементов (далее — РЗЭ), нормированных на хондрит по McDonough, W. F., Sun, [7] и редких элементов, нормированных на H-COX по Sun, McDonough [8] (спайдер-диаграммы). По мнению автора, эти диаграммы являются наиболее универсальными и показательными. Нами применена методика их интерпретации, изложенная в специальном методическом пособии для геологического картографирования (в издании, 2025). Данная методика разработана доктором геол.-минерал. наук Д. Н. Ремизовым на основе базы данных Института Макса Планка, Майнц, Германия по магматизму геодинамических обстановок, считающихся мировыми стандартами, и на основе большого объема данных, накопленных в ФГБУ «Институт Карпинского» в ходе работ последних 20 лет.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Ранний протерозой: аналог улкания в Приколымье.** В правобережном бассейне р. Колыма в междуречье Коркодон–Каменка широко распространена выделенная при геологическом картировании хакдонская серия, сложенная умереннощелочными метавулканитами кислого и основного составов (трахириолиты, трахиты, базальты), песчаниками и конгломератами (Алешко и др., 1980 г.). Возраст хакдонской серии, по данным В. И. Ткаченко [9],

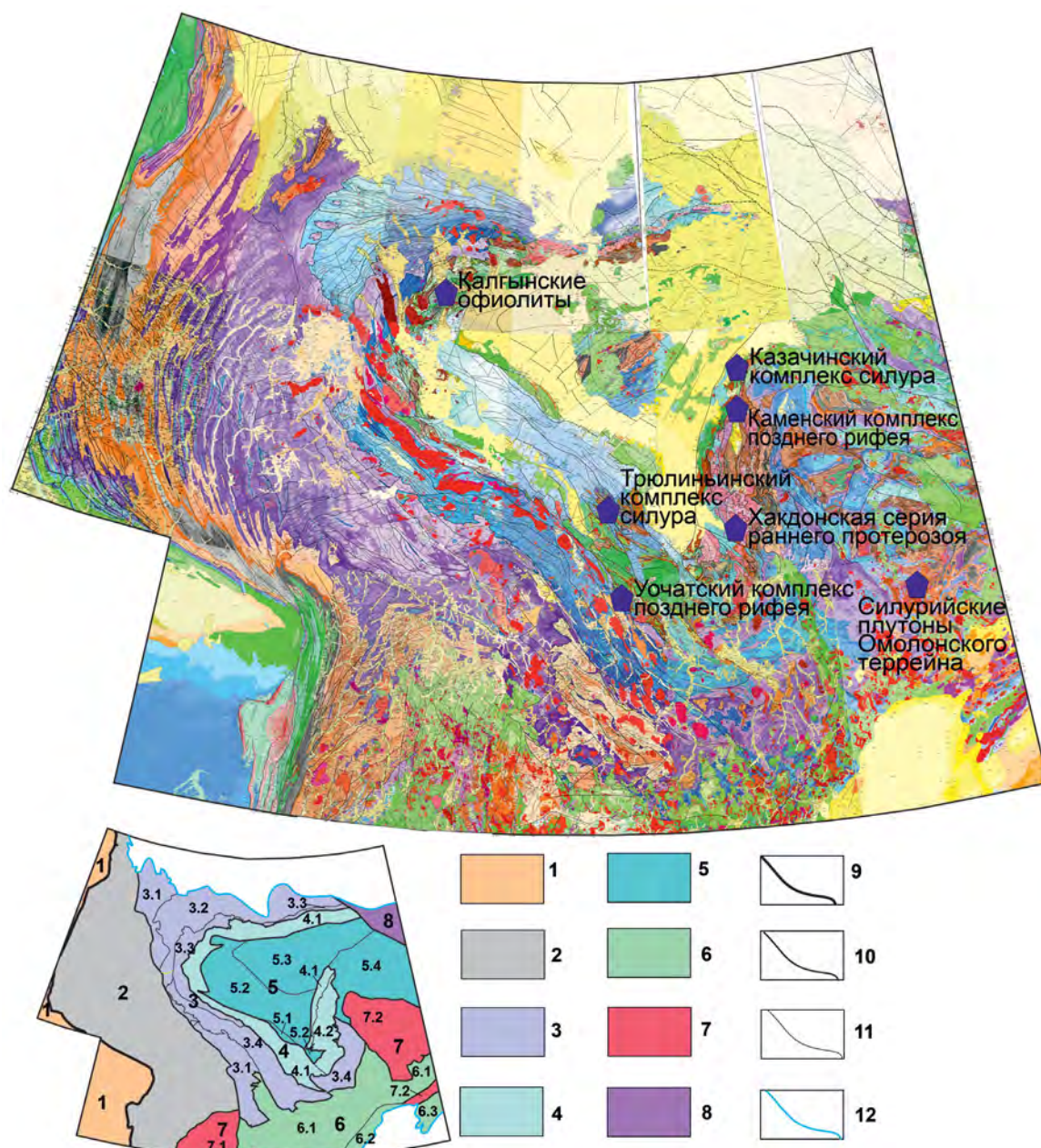


Рис. 1. Монтаж листов Государственной геологической карты РФ масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения в границах Верхояно-Колымской серии (17 листов геологической карты дочетвертичных образований). Синими многоугольниками показаны рассматриваемые в статье объекты магматических образований. На врезке снизу схема тектонического районирования Верхояно-Колымской серии листов Госгеолкарты-1000/3

1 — Сибирская платформа; 2–6 — складчато-надвиговые пояса и системы Верхояно-Колымской складчато-надвиговой области: 2 — Верхоянский пояс, 3 — Яно-Колымская система (террейны: 3.1 — Кулар-Нерский, 3.2 — Полоусненский, 3.3 — Нагонджинский, 3.4 — Иньяли-Дебинский), 4 — Индигиро-Колымская система (террейны: 4.1 — Омулёвский, 4.2 — Приколымский), 5 — Алазейско-Олойская система (террейны: 5.1 — Рассошинский, 5.2 — Аргатаско-Поповкинский, 5.3 — Алазейский, 5.4 — Олойско-Берёзовский), 6 — Охотско-Тайгонская палеоостроводужная система (террейны: 6.1 — Вилигинский, 6.2 — Удско-Мургалский, 6.3 — Кони-Тайгоносский); 7 — кратонные террейны (7.1 — Охотский, 7.2 — Оломонский); 8 — Южно-Ануйская сутурная зона; 9–11 — границы: 9 — Верхояно-Колымской области; 10 — складчато-надвиговых поясов, систем и кратонных блоков; 11 — террейнов; 12 — береговая линия и границы приморских впадин

Fig. 1. Sheet assembly of the State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 1,000,000 (third generation) within the Verkhoyansk-Kolyma series boundaries (17 sheets of the Pre-Quaternary Formations geological map). The blue polygons display relevant objects of igneous formations. The inset below shows a tectonic zoning diagram of the Verkhoyansk-Kolyma sheet series of the State Geological Map, scale of 1 : 1,000,000 (third generation)

1 — Siberian platform; 2–6 — fold-thrust belts and systems of the Verkhoyansk-Kolyma Fold-Thrust Region: 2 — Verkhoyansk Belt, 3 — Yana-Kolyma system (terraces: 3.1 — Kular-Ner, 3.2 — Polousnensk, 3.3 — Nagondzha, 3.4 — Inyali-Debin), 4 — Indigiro-Kolyma system (terraces: 4.1 — Omulevka, 4.2 — Prikolymye), 5 — Alazey-Oloy system (terraces: 5.1 — Rassoshino, 5.2 — Argatas-Popovkino, 5.3 — Alazey, 5.4 — Oloy-Berezovka), 6 — Okhotsk-Taigonos paleo-island arc system (terraces: 6.1 — Viliginsky, 6.2 — Uda-Murgala, 6.3 — Koni-Taigonos); 7 — cratonic terranes (7.1 — Okhotsk, 7.2 — Omolon); 8 — Yuzhny Anuy suture zone; 9–11 — boundaries: 9 — Verkhoyansk-Kolyma region; 10 — fold-thrust belts, systems, and cratonic blocks; 11 — terranes; 12 — coastline and boundaries of coastal basins



определялся как позднерифейский на основании ее несогласного залегания на отложениях чебукулахской серии среднего–верхнего рифея. Последняя датирована многочисленными сборами остатков строматолитов керпильского и лахандинского горизонтов [10]. Верхняя граница хакдонской серии определялась тем, что она с разрывом и структурным несогласием перекрывается нижневендской сяпякинской свитой. В 2006 г. А. К. Худолей, В. И. Ткаченко и др. впервые опубликовали U-Pb SIMS датировку образца вулканитов хакдонской серии —  $1710 \pm 21$  млн лет [11]. Однако эти данные не были учтены в обновленных стратиграфических схемах докембрия Приколымской структурно-фациальной области (далее — СФО), и в Решениях Межведомственного стратиграфического комитета России (далее — МСК) 2009 г. хакдонская серия осталась на уровне верхнего рифея стратиграфически выше чебукулахской серии [10].

Приступая к картированию протерозойских отложений Приколымья, составители листа Q-56 Госгеолкарты-1000/3 основывались на утвержденной МСК схеме [10]. В процессе полевых работ

исполнители изучили одно из опорных обнажений контакта чебукулахской и хакдонской серий (рис. 2) и, как казалось, убедились в правильности принятой схемы (рис. 2, а). После получения данных U-Pb возраста стало понятно, что соотношения серий здесь не стратиграфические, а тектонические. Раннепротерозойские вулканиты с возрастом 1 млрд 710 млн лет лежат на более молодых рифейских доломитах чебукулахской серии (рис. 2, b), то есть в данном обнажении наблюдаем послыйный надвиг. Аналогичные соотношения установлены и на других участках развития хакдонской серии.

В 2017–2018 гг. при составлении листа Q-56 из эффузивов и субвулканических тел кислого состава хакдонской серии U-Pb SIMS методом получены три конкордантные даты от  $1738 \pm 5$  до  $1704 \pm 10$  млн лет, отвечающие позднему карелию раннего протерозоя. Раннепротерозойский возраст хакдонской серии подтверждается также данными изучения возрастных спектров детритовых цирконов. Так, в пачке кварц-полевошпатовых метапесчаников, залегающих над метариолитами хакдонской серии, отсутствуют обломочные цирконы моложе

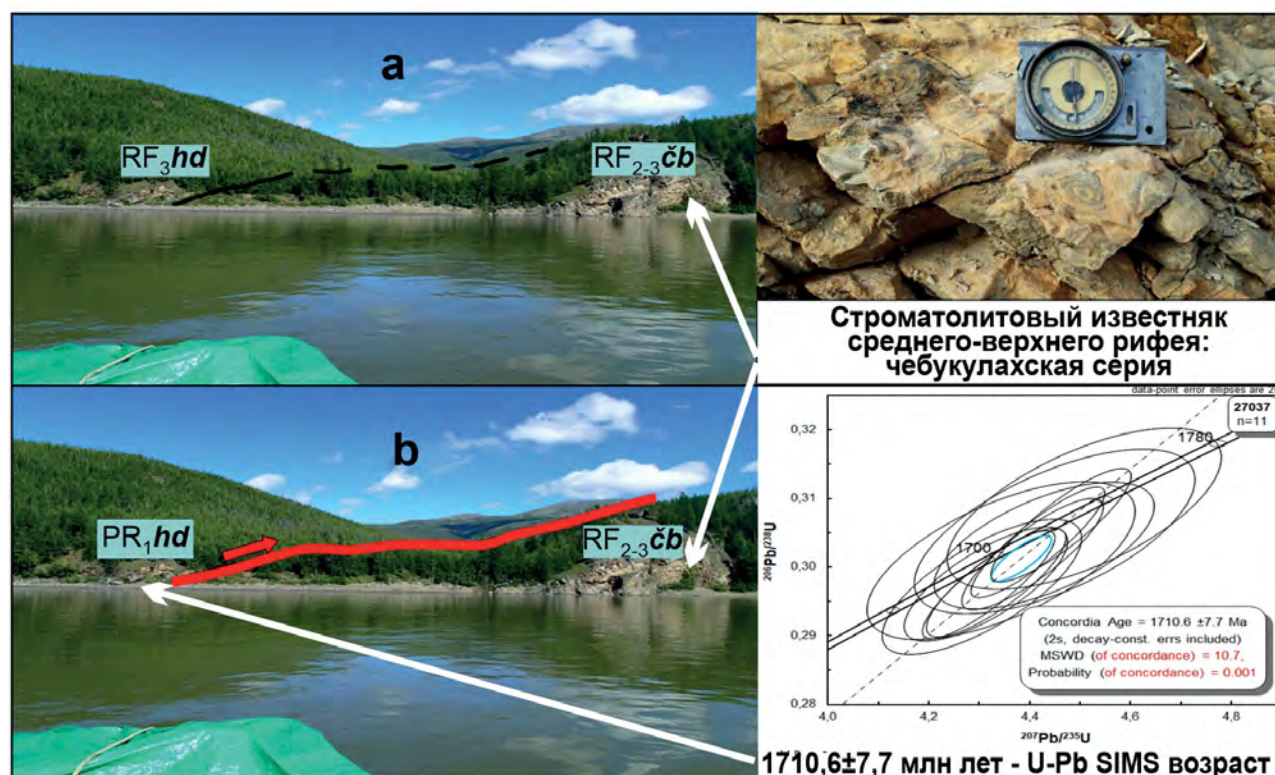


Рис. 2. Изменение представлений о соотношении хакдонской и чебукулахской серий в Восточном Приколымье

а — по материалам Госгеолкарты-1000/2 и [10] (стратиграфическая граница), б — после проведения работ по составлению листа Q-56 Госгеолкарты-1000/3 (послойный надвиг)

Источник: составлено автором В. И. Шпикерманом; а — на основе Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (новая серия), [4; 10]

Fig. 2. Changed views of the Khakdon and Chebukulakh series ratio in the Eastern Prikolyma region

а — based on the State Geological Map, scale of 1 : 1,000,000 (second generation) and [10] (stratigraphic boundary), б — after creating sheet Q-56 of the State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 1,000,000 (third generation) (layered thrust)

Source: by the author V. I. Shpikerman; а — adapted from the State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 1,000,000 (new series), [4; 10]



1660 млн лет. Эти данные противоречат поздне-рифейскому возрасту хакдонской серии. Дополнительным указанием на допоздне-рифейский возраст хакдонской серии является то, что в нижневендских песчаниках сяпякинской свиты, перекрывающей со структурным несогласием отложения нижнего и среднего рифея, а также хакдонскую серию, полностью отсутствуют обломочные цирконы моложе 1 млрд лет.

Магматические образования хакдонской серии на листе Q-56 выделены в хакдонский трахириолит-трахибазальтовый вулканический комплекс. В составе комплекса преобладают трахириолиты, риолиты и трахиты. Породы метаморфизованы на уровне зеленосланцевой фации. Для метаморфизованных вулканитов кислого состава порфириковой структуры часто используется местное наименование «порфириды». Вулканиты основного состава образуют стратифицированные залежи, межпластовые тела и дайки трахибазальтов, базальтов и андезибазальтов. Изучение химического состава изверженных

пород комплекса (табл. 1, № 1–5) отчетливо отразило бимодальный характер вулканизма хакдонского комплекса. Анализ распределения РЗЭ и редких элементов в породах комплекса показывает, что и базиты (обр. 27038/1, 27036/5) и кислые вулканиты (обр. 27039/0, 27037/0, 17022/9) обогащены редкими землями, особенно лантаноидами (рис. 3). Выделяются выраженные отрицательные аномалии Sr и Eu в вулканитах кислого состава (рис. 4). Эти петрогеохимические особенности указывают на то, что хакдонские вулканиты, вероятнее всего, являются производными бимодального внутриплитного рифтогенного магматизма на континентальном основании. Риолиты этой ассоциации — дифференциаты базальтового расплава.

Совокупность полученных данных позволяет сопоставить хакдонскую серию Приколымья с эльгэтэйской свитой нижнепротерозойской вулканской серии юго-востока Сибирской платформы [12; 13]. Сходство очевидное: состав и U-Pb возраст вулканитов, строение разреза и др. Вывод однознач-

Таблица 1

**Содержания породообразующих окислов (масс. %) и микроэлементов (г/т)  
в магматических породах раннепротерозойского (№ 1–5) и рифейского (№ 6–8) возраста**

Table 1. Contents of rock-forming oxides (wt.%) and microelements (g/t) in the Early Proterozoic (nos. 1–5) and Riphean (nos. 6–8) igneous rocks

| Комплекс                         | Хакдонский трахириолит-трахибазальтовый вулканический комплекс (PR <sub>1</sub> hk) |         |         |         |         | Долериты каменского габбро-плагиогранитового plutonического комплекса (BRF <sub>3</sub> km) |         |         |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
|                                  | 1                                                                                   | 2       | 3       | 4       | 5       | 6                                                                                           | 7       | 8       |
| № п/п                            | 1                                                                                   | 2       | 3       | 4       | 5       | 6                                                                                           | 7       | 8       |
| № пр.                            | 27038/1                                                                             | 27036/5 | 27039/0 | 27037/0 | 17022/9 | 17022/3                                                                                     | 97007/7 | 17023/1 |
| Порода                           | β                                                                                   | β       | Елх     | Ел      | λ       | β                                                                                           | β       | β       |
| SiO <sub>2</sub>                 | 51,20                                                                               | 53,30   | 69,50   | 72,40   | 81,30   | 47,20                                                                                       | 47,60   | 48,60   |
| TiO <sub>2</sub>                 | 2,04                                                                                | 2,50    | 0,51    | 0,51    | 1,49    | 2,66                                                                                        | 1,31    | 3,26    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 14,00                                                                               | 13,90   | 12,60   | 12,10   | 6,07    | 15,40                                                                                       | 11,90   | 12,60   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * | 15,70                                                                               | 13,60   | 4,56    | 4,67    | 6,12    | 12,20                                                                                       | 13,60   | 17,30   |
| MnO                              | 0,20                                                                                | 0,12    | 0,06    | 0,03    | 0,04    | 0,18                                                                                        | 0,24    | 0,26    |
| MgO                              | 5,66                                                                                | 7,15    | 1,10    | 0,56    | 0,77    | 5,45                                                                                        | 7,05    | 4,71    |
| CaO                              | 3,43                                                                                | 1,00    | 0,91    | 0,53    | 0,42    | 6,12                                                                                        | 8,47    | 6,60    |
| Na <sub>2</sub> O                | 2,67                                                                                | 3,65    | 2,42    | 2,76    | 0,05    | 2,77                                                                                        | 0,01    | 2,29    |
| K <sub>2</sub> O                 | 1,34                                                                                | 0,70    | 6,36    | 4,56    | 1,48    | 0,28                                                                                        | 0,05    | 0,06    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>    | 0,50                                                                                | 0,53    | 0,10    | 0,07    | 0,07    | 0,44                                                                                        | 0,10    | 0,49    |
| ппп                              | 3,12                                                                                | 3,28    | 1,54    | 1,34    | 1,57    | 7,15                                                                                        | 9,50    | 3,05    |
| Сумма                            | 99,86                                                                               | 99,73   | 99,66   | 99,53   | 99,32   | 99,85                                                                                       | 99,81   | 99,22   |
| <b>Микроэлементы</b>             |                                                                                     |         |         |         |         |                                                                                             |         |         |
| La                               | 32,80                                                                               | 69,50   | 101,00  | 102,00  | 40,30   | 29,90                                                                                       | 4,72    | 11,70   |
| Ce                               | 67,10                                                                               | 134,00  | 193,00  | 200,00  | 80,10   | 55,40                                                                                       | 11,40   | 27,20   |
| Pr                               | 8,52                                                                                | 16,70   | 21,80   | 23,10   | 9,40    | 7,29                                                                                        | 1,76    | 4,10    |
| Nd                               | 36,00                                                                               | 66,60   | 79,40   | 90,90   | 35,00   | 30,90                                                                                       | 9,27    | 21,10   |
| Sm                               | 6,48                                                                                | 12,00   | 13,50   | 15,90   | 7,48    | 6,33                                                                                        | 2,72    | 5,86    |
| Eu                               | 2,08                                                                                | 2,65    | 2,26    | 2,15    | 1,46    | 2,36                                                                                        | 1,07    | 2,06    |
| Gd                               | 6,59                                                                                | 11,80   | 11,70   | 14,20   | 8,17    | 6,29                                                                                        | 3,53    | 6,55    |
| Tb                               | 0,93                                                                                | 1,68    | 1,69    | 2,01    | 1,50    | 0,88                                                                                        | 0,64    | 1,06    |
| Dy                               | 5,29                                                                                | 9,50    | 8,77    | 10,50   | 10,60   | 4,64                                                                                        | 4,11    | 5,78    |

| Комплекс | Хакдонский трахириолит-трахибазальтовый<br>вулканический комплекс (PR,hk) |         |         |         |          | Долериты каменского<br>габбро-плагиигранитового плутонического комплекса<br>(BRF <sub>3</sub> km) |         |         |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
| № п/п    | 1                                                                         | 2       | 3       | 4       | 5        | 6                                                                                                 | 7       | 8       |
| № пр.    | 27038/1                                                                   | 27036/5 | 27039/0 | 27037/0 | 17022/9  | 17022/3                                                                                           | 97007/7 | 17023/1 |
| Порода   | β                                                                         | β       | Елζ     | Ел      | λ        | β                                                                                                 | β       | β       |
| Но       | 1,00                                                                      | 1,96    | 1,72    | 2,05    | 2,54     | 0,89                                                                                              | 0,97    | 1,25    |
| Er       | 2,74                                                                      | 5,36    | 5,06    | 5,86    | 8,32     | 2,31                                                                                              | 2,81    | 3,54    |
| Tm       | 0,38                                                                      | 0,73    | 0,69    | 0,83    | 1,34     | 0,30                                                                                              | 0,41    | 0,47    |
| Yb       | 2,35                                                                      | 4,79    | 4,74    | 5,30    | 9,34     | 1,96                                                                                              | 2,60    | 2,90    |
| Lu       | 0,36                                                                      | 0,76    | 0,76    | 0,83    | 1,58     | 0,29                                                                                              | 0,43    | 0,42    |
| V        | 248,00                                                                    | 92,60   | 6,99    | 20,50   | 131,00   | 203,00                                                                                            | 300,00  | 286,00  |
| Cr       | 37,50                                                                     | 1,61    | 15,70   | 9,97    | 12300,00 | 63,20                                                                                             | 226,00  | 133,00  |
| Ni       | 47,70                                                                     | 1,86    | 7,62    | 3,72    | 117,00   | 49,70                                                                                             | 64,60   | 15,70   |
| Rb       | 25,10                                                                     | 16,50   | 105,00  | 98,80   | 45,20    | 10,40                                                                                             | 2,35    | 1,00    |
| Sr       | 364,00                                                                    | 59,30   | 48,20   | 41,10   | 20,60    | 425,00                                                                                            | 72,40   | 406,00  |
| Y        | 27,70                                                                     | 52,80   | 49,60   | 58,60   | 70,40    | 24,90                                                                                             | 27,20   | 33,40   |
| Zr       | 157,00                                                                    | 378,00  | 463,00  | 493,00  | 1830,00  | 184,00                                                                                            | 69,40   | 149,00  |
| Nb       | 9,97                                                                      | 25,70   | 34,80   | 29,20   | 79,70    | 44,60                                                                                             | 3,22    | 8,94    |
| Ba       | 522,00                                                                    | 145,00  | 1190,00 | 784,00  | 261,00   | 218,00                                                                                            | 14,40   | 36,60   |
| Hf       | 3,75                                                                      | 9,63    | 11,40   | 12,80   | 48,50    | 4,22                                                                                              | 1,96    | 3,54    |
| Ta       | 0,55                                                                      | 1,44    | 1,99    | 1,62    | 4,37     | 2,61                                                                                              | 0,21    | 0,56    |
| Pb       | 13,10                                                                     | 6,99    | 6,79    | 7,50    | 4,60     | 9,32                                                                                              | 4,25    | 10,50   |
| Th       | 2,37                                                                      | 10,10   | 22,40   | 16,50   | 22,20    | 3,19                                                                                              | 0,57    | 1,49    |
| U        | 0,41                                                                      | 1,23    | 2,80    | 2,64    | 6,96     | 1,01                                                                                              | 0,18    | 0,53    |

Индексы состава горных пород (строчка «порода») здесь и далее даны в соответствии с [1]; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* — здесь и далее сумма окислов трех- и двухвалентного железа, приведенная к Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

The rock composition indices (rock line) are given in accordance with [1] henceforward; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* — the sum of tri- and divalent iron oxides is reduced to Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> henceforward.

Источник: [4]

Source: [4]

чен: хакдонская серия Восточного Приколымья — это улканий, дальневосточный аналог верхнего карелия [14].

Пересмотр возраста хакдонской серии Приколымья позволил не только изменить стратиграфическую схему докембрия Приколымской СФО [15], но и су-

щественно пересмотреть общую структуру Приколымского террейна. По современным данным, террейн представляет собой сложно построенный пакет крупных шарьяжно-надвиговых пластин, сформированный в результате неоднократного шарьирования в различных направлениях [4].



Рис. 3. Спектры редкоземельных элементов пород хакдонского трахириолит-трахибазальтового вулканического комплекса

Источник: [4]

Fig. 3. Rare earth element spectra of the Khakdon trachyrhyolite and trachybasalt volcanic complex rocks

Source: [4]

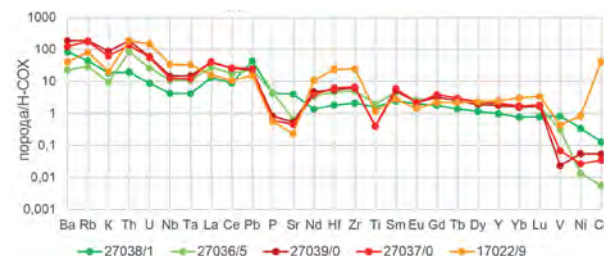


Рис. 4. Спайдер-диаграмма для пород хакдонского трахириолит-трахибазальтового вулканического комплекса

Источник: [4]

Fig. 4. Spider diagram for the Khakdon trachyrhyolite and trachybasalt volcanic complex rocks

Source: [4]

**Поздний рифей: предвендский тектогенез и магматизм.** Проявления позднерифейских (предвендских) тектонических движений широко представлены на Северо-Востоке России в виде регионального структурного несогласия в основании нижневендских отложений. Это несогласие давно известно в основании юдомской серии хр. Сетте-Дабан (лист Р-53) [16], в основании сяпякинской свиты Приколымья (рис. 5 [4]). В некоторых районах венд из разреза выпадает, и это несогласие фиксируется в низах кембрия (подошва сезамской свиты Омолонского кратонного террейна на листах Q-56 [4] и Q-57 [17]) и даже в основании разреза ордовика (подошва зарской толщи Омүлөвского террейна на листе Q-55 [18]).

Еще одним проявлением предвендского тектогенеза является метаморфизм. В центральной части Приколымского террейна В. И. Ткаченко и И. П. Щербакова [19] в 1991 г. описали продукты послераннепротерозойского — довендского метаморфизма как Приколымский метаморфический пояс, границы которого определяются в основном за пределами зоны интенсивного предвендского динамотермального метаморфизма. В область влияния этого пояса попадают раннепротерозойские гранитогнейсы шаманихинского комплекса и гранитизированные образования колымской серии архея. В процессе U-Pb SIMS датирования при составлении листа Q-56 выяснилось, что на большинстве диаграмм с конкордией пород этих древних комплексов присутствуют дискордии с верхним пересечением около 2 млрд лет, что отражает время гранитизации образований колымской серии и формирование шаманихинского гранитогнейсового комплекса [4]. Нижние расчетные пересечения дискордий варьируют в широком временном диапазоне, но в целом (с учетом погрешностей) не выходят за пределы позднего рифея (900–600 млн лет). Эти данные

отражают позднерифейское термальное событие (динамотермальный метаморфизм) в пределах Приколымского террейна.

О позднерифейском магматизме в центральных районах Северо-Востока России ранее практически ничего не было известно. Благодаря широкому применению U-Pb датирования при выполнении программы Госгеолкарта-1000/3 магматические образования этого возраста уверенно установлены в нескольких районах. Наиболее отчетливо они проявлены на листе Р-55 в давно известном Учатском тектоническом блоке на юго-западе Омүлөвского террейна [20]. Прямого аналога этому блоку на Северо-Востоке России нет. Возраст гранитоидов Учатского массива и метаморфических пород в его обрамлении трактовался разными исследователями от архея до мела. Так, на Госгеолкарте-1000 второго поколения гнейсо-гранитоиды в ядре массива показаны раннемеловыми [21]. В процессе работ по составлению листа Р-55 Госгеолкарты-1000/3 гнейсо-гранодиориты Учатского массива и ассоциирующие с ним небольшие тела гранитов и гранитных мигматитов были выделены в учатский мигматит-гранитовый комплекс. По данным многочисленных U-Pb SIMS датировок был установлен позднерифейский (предвендский) возраст комплекса ( $639,0 \pm 3$ – $623,2 \pm 7,4$  млн лет) (рис. 6).

Химический и микроэлементный состав пород учатского комплекса приведен в табл. 2. Гранитоиды комплекса имеют нормально- и умереннощелочной состав, с калиево-натриевым типом щелочности [22]. Анализ распределения РЗЭ и редких элементов в породах учатского комплекса (рис. 7, 8) отчетливо отразил надсубдукционную, скорее всего, островодужную природу гранитоидов (энсиалическая островная дуга). На это указывают: отрицательная Ta-Nb аномалия при росте Ta относительно Nb,

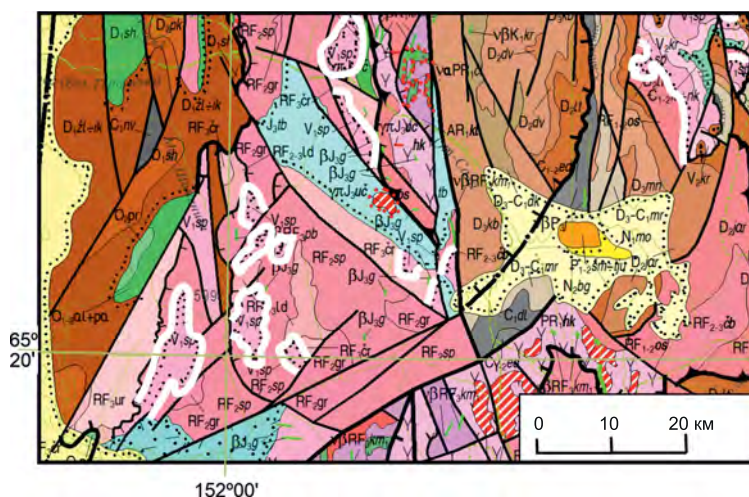


Рис. 5. Фрагмент геологической карты дочетвертичных образований листа Q-56 Госгеолкарты-1000/3. Структурное несогласие в основании сяпякинской свиты нижнего венда (белые линии)

Источник: составлено автором В. И. Шпикерманом на основе [4]

Fig. 5. Fragment of the Pre-Quaternary Formations geological map, sheet Q-56 of the State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 1,000,000 (third generation). Structural unconformity at the base of the Lower Vendian Syapyakine Formation (white lines)

Source adapted by the author V. I. Shpikerman from [4]



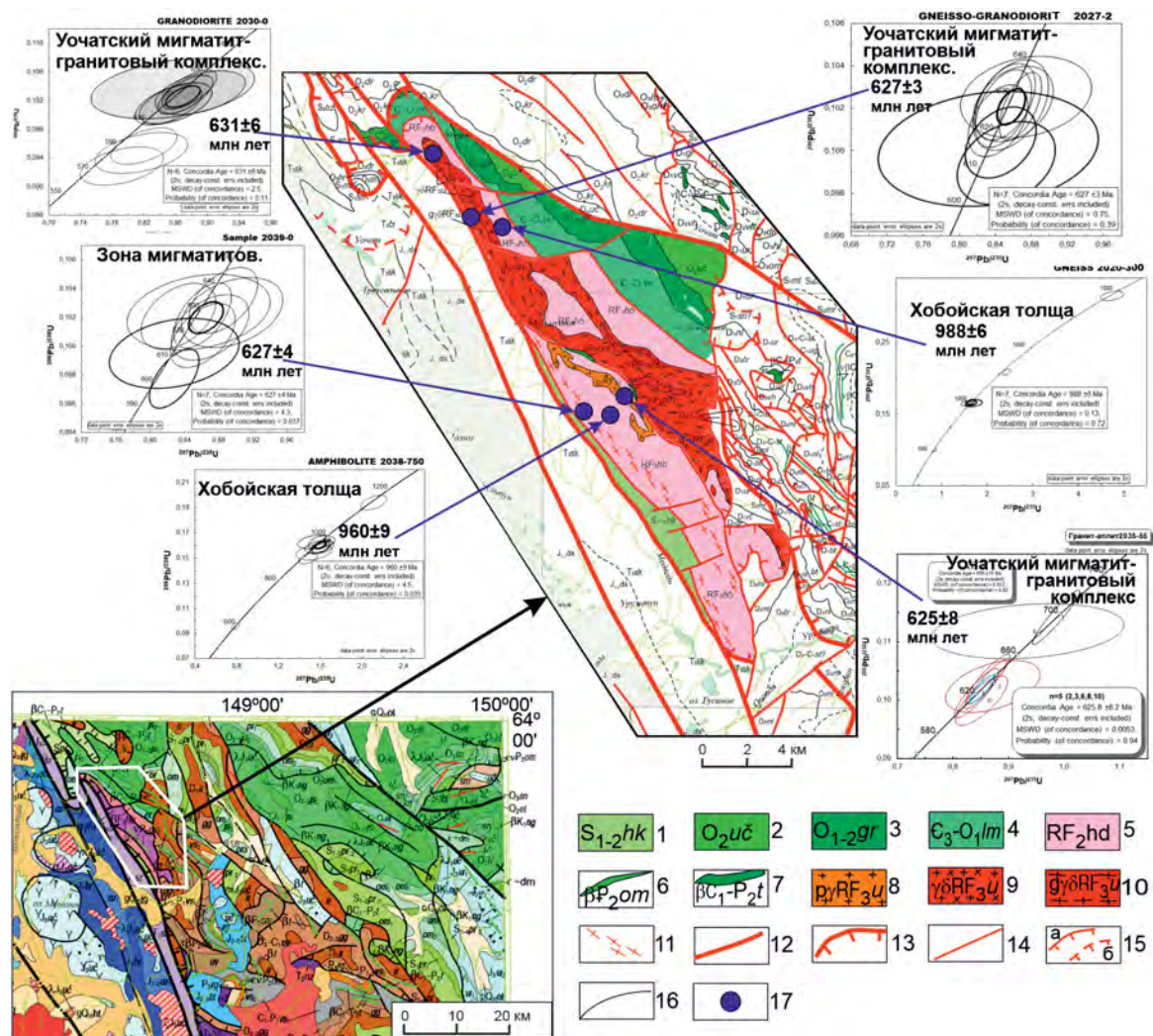


Рис. 6. Геологическое строение Уочатского блока в юго-западной части Омuléвского террейна с данными U-Pb датирования методом SIMS

1–5 — стратифицированные образования Уочатского блока: **1** — хекандинская свита венлокско-лудловского возраста (мраморизованные известняки, филлиты), **2** — уочатская свита дапинско-дарривильского возраста (известняки, доломиты, известковые песчаники), **3** — журская свита флюско-дапинского возраста (в основании — метаконгломераты, кварциты; верхняя часть — слюдяные сланцы, филлиты, глинистые известняки, известковые песчаники), **4** — лайминская свита позднемембрийско-тремадокского возраста (карбонат-слюдисто-хлоритовые и мусковит-хлоритовые сланцы, мраморы, кварциты), **5** — хобойская толща позднерифейского возраста (биотитовые и двуслюдяные плагиогнейсы, амфиболиты); **6–11** — магматические породы Уочатского блока и его обрамления: **6** — омuléвский тешенит-трахидолерит-лампрофировый комплекс эоценового возраста (дайки долеритов, габброидов, лампрофиров), **7** — тасканский долерит-габбродолеритовый комплекс каменноугольно-пермского возраста (дайки и штоки долеритов, габбродолеритов), **8–11** — уочатский мигматит-гранитовый комплекс позднерифейского возраста (**8** — плагиограниты, аляскиты, **9** — гранодиориты, **10** — гнейсогранодиориты, **11** — линейные зоны гранитных мигматитов); **12–15** — разрывные нарушения: **12** — главные крутопадающие, **13** — главные надвиги, **14** — второстепенные крутопадающие, **15** — второстепенные надвиги (*a* — установленные, *b* — предполагаемые); **16** — стратиграфические границы (штриховкой показаны предполагаемые); **17** — точки отбора проб для U-Pb датирования методом SIMS с результатами датирования (графики с конкордиями и значения изотопного возраста в зарамочном оформлении). Слева внизу — северо-восточный фрагмент листа P-55 Госгеолкарты-1000/3 с контуром Уочатского блока

Источник: составлено автором В. И. Шпикерманом на основе [22]

Fig. 6. Geological composition of the Uochat Block in the southwestern Omulevka terrane, with the SIMS U-Pb data included

1–5 — stratified formations of the Uochat Block: **1** — the Wenlock-Ludlow Khekandinsky Formation (marbled limestones, phyllites), **2** — Dapingian-Darriwilian Uochat Formation (limestones, dolomites, calcareous sandstones), **3** — Floian-Dapingian Zhura Formation (at the base: metaconglomerates, quartzites; upper part: micaceous schists, phyllites, clayey limestones, calcareous sandstones), **4** — Late Cambrian-Tremadocian Laimina Formation (carbonate, mica, chlorite and muscovite-chlorite schists, marbles, quartzites), **5** — Late Riphean Khoboy Unit (biotite and two-mica plagiogneisses, amphibolites); **6–11** — Uochat Block igneous rocks and its adjacent areas: **6** — Eocene Omulevka teschenite-trachydolerite-lamprophyric complex (dykes of dolerites, gabbroids, lamprophyres); **7** — Carboniferous-Permian Taskan dolerite-gabbrodolerite complex (dykes and stocks of dolerites, gabbrodolerites), **8–11** — Late Riphean Uochat migmatite-granite complex (**8** — plagiogranites, alaskites, **9** — granodiorites, **10** — gneiss-granodiorites, **11** — granite migmatite linear zones); **12–15** — faults (**12** — main steeply dipping, **13** — main thrusts, **14** — secondary steeply dipping, **15** — secondary thrusts: *a* — established, *b* — inferred); **16** — stratigraphic boundaries (inferred by shading); **17** — sampling points, with the SIMS U-Pb data included (concordia diagrams and isotope age values in the margin). Bottom left — northeastern fragment of sheet P-55 with the Uochat Block outline, the State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 1,000,000 (third generation)

Source: adapted by the author V. I. Shpikerman from [22]

**Содержания породообразующих окислов (масс. %) и микроэлементов (г/т)  
в магматических породах уочатского мигматит-гранитового комплекса рифейского возраста**

Table 2. Contents of rock-forming oxides (wt.%) and microelements (g/t) in the Riphean igneous rocks of the Uochat migmatite-granite complex

| № п/п                            | 1      | 2      | 3      | 4       | 5       | 6      | 7     | 8        | 9        | 10       |
|----------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|-------|----------|----------|----------|
| № пр.                            | 2027-2 | 34     | 2030/0 | 2034/80 | 2035/55 | 2038/0 | 2037  | 2038/140 | 2039/0   | 2042/468 |
| Порода                           | гүδ    | гүξ    | үδ     | гүδ     | гүδ     | ү      | ly    | ly       | Мигматит | Мигматит |
| SiO <sub>2</sub>                 | 59,30  | 64,20  | 68,10  | 68,10   | 71,70   | 72,80  | 74,00 | 74,50    | 65,30    | 74,00    |
| TiO <sub>2</sub>                 | 1,06   | 0,61   | 0,57   | 0,61    | 0,25    | 0,22   | 0,17  | 0,10     | 0,51     | 0,17     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 16,20  | 16,60  | 14,10  | 14,50   | 11,90   | 13,9   | 13,90 | 13,90    | 14,90    | 13,50    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * | 7,32   | 4,43   | 4,39   | 4,02    | 5,07    | 2,43   | 1,56  | 1,32     | 3,94     | 1,70     |
| MnO                              | 0,12   | 0,069  | 0,063  | 0,057   | 0,027   | 0,028  | 0,02  | 0,023    | 0,054    | 0,021    |
| MgO                              | 2,89   | 1,38   | 1,54   | 1,39    | 0,60    | 0,46   | 0,38  | 0,45     | 1,00     | 0,44     |
| CaO                              | 5,53   | 2,62   | 3,31   | 2,38    | 0,74    | 0,83   | 1,35  | 1,84     | 2,55     | 1,52     |
| Na <sub>2</sub> O                | 3,58   | 2,97   | 3,00   | 3,35    | 2,44    | 3,25   | 3,60  | 3,59     | 3,20     | 3,13     |
| K <sub>2</sub> O                 | 1,70   | 5,43   | 3,30   | 3,42    | 5,11    | 4,77   | 4,30  | 2,48     | 4,95     | 4,77     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>    | 0,29   | 0,17   | 0,13   | 0,12    | 0,062   | 0,052  | 0,025 | 0,081    | 0,14     | 0,025    |
| ппп                              | 1,98   | 1,43   | 1,44   | 2,17    | 1,95    | 1,22   | 0,58  | 1,68     | 3,24     | 0,74     |
| Сумма                            | 99,90  | 99,90  | 100,00 | 100,00  | 99,90   | 100,00 | 99,90 | 100,00   | 99,80    | 100,00   |
| <b>Микроэлементы</b>             |        |        |        |         |         |        |       |          |          |          |
| La                               | 53,70  | 159,00 | 36,90  | 45,40   | 55,70   | 60,30  | 43,60 | 8,97     | 92,60    | 43,00    |
| Ce                               | 107,00 | 275,00 | 77,30  | 86,00   | 102,00  | 107,00 | 74,80 | 17,00    | 164,00   | 67,50    |
| Pr                               | 12,30  | 30,90  | 8,47   | 9,34    | 11,10   | 11,90  | 7,81  | 2,04     | 18,10    | 6,38     |
| Nd                               | 45,50  | 106,00 | 29,90  | 32,40   | 35,70   | 38,60  | 27,20 | 6,89     | 59,30    | 20,60    |
| Sm                               | 9,54   | 17,70  | 6,37   | 6,77    | 6,91    | 7,58   | 5,94  | 1,91     | 10,70    | 3,71     |
| Eu                               | 1,59   | 3,60   | 1,14   | 1,08    | 0,74    | 0,69   | 0,67  | 0,27     | 1,99     | 0,77     |
| Gd                               | 8,54   | 13,50  | 5,81   | 5,33    | 5,49    | 6,64   | 4,64  | 1,89     | 8,43     | 3,99     |
| Tb                               | 1,17   | 2,18   | 0,79   | 0,75    | 0,62    | 0,94   | 0,76  | 0,43     | 0,99     | 0,59     |
| Dy                               | 7,18   | 10,80  | 4,59   | 4,27    | 3,10    | 5,40   | 4,44  | 3,18     | 5,27     | 3,86     |
| Ho                               | 1,52   | 1,97   | 1,01   | 0,91    | 0,68    | 1,16   | 1,01  | 0,70     | 1,03     | 0,85     |
| Er                               | 4,08   | 5,70   | 2,74   | 2,40    | 1,41    | 2,87   | 2,82  | 2,10     | 2,57     | 2,44     |
| Tm                               | 0,64   | 0,84   | 0,40   | 0,33    | 0,19    | 0,47   | 0,44  | 0,38     | 0,45     | 0,41     |
| Yb                               | 3,80   | 4,96   | 2,58   | 2,58    | 1,02    | 2,63   | 2,88  | 2,23     | 2,54     | 2,24     |
| Lu                               | 0,58   | 0,65   | 0,39   | 0,37    | 0,16    | 0,37   | 0,49  | 0,32     | 0,41     | 0,43     |
| V                                |        | 60,10  |        |         |         |        |       |          |          |          |
| Cr                               |        | 39,90  |        |         |         |        |       |          |          |          |
| Ni                               |        | 16,9   |        |         |         |        |       |          |          |          |
| Rb                               |        | 191,00 | 118,00 | 141,00  | 126,00  | 208,00 | 142   | 72,50    | 95,6     | 88,90    |
| Sr                               | 431,00 | 635,00 | 294,00 | 208,00  | 108,00  | 129,00 | 164   | 62,70    | 196      | 199,00   |
| Y                                | 43,10  | 54,50  | 27,80  | 25,00   | 14,80   | 31,60  | 28,4  | 18,80    | 28,6     | 25,90    |
| Zr                               | 346,00 | 408,00 | 225,00 | 185,00  | 163,63  | 173,00 | 125   | 55,30    | 230      | 116,00   |
| Nb                               | 15,80  | 22,40  | 14,20  | 16,30   | 8,75    | 15,70  | 23,7  | 34,60    | 12,7     | 8,53     |
| Ba                               |        | 2220,0 |        |         |         |        |       |          |          |          |
| Hf                               | 7,93   | 11,30  | 5,45   | 4,71    | 4,05    | 4,91   | 3,95  | 2,20     | 4,92     | 3,55     |
| Ta                               | 1,16   | 1,99   | 1,32   | 1,38    | 0,84    | 2,10   | 4,5   | 11,30    | 1,08     | 1,27     |
| Pb                               | 18,90  | 20,20  | 11,50  | 17,50   | 24,50   | 12,00  | 8,16  | 7,29     | 8,96     | 10,20    |
| Th                               | 10,90  | 35,70  | 15,30  | 23,50   | 29,40   | 25,20  | 23,9  | 10,00    | 26,1     | 27,00    |
| U                                | 3,37   | 6,98   | 3,84   | 3,63    | 5,10    | 4,78   | 6,51  | 14,50    | 3,35     | 5,40     |

Источник: [22]

Source: [22]

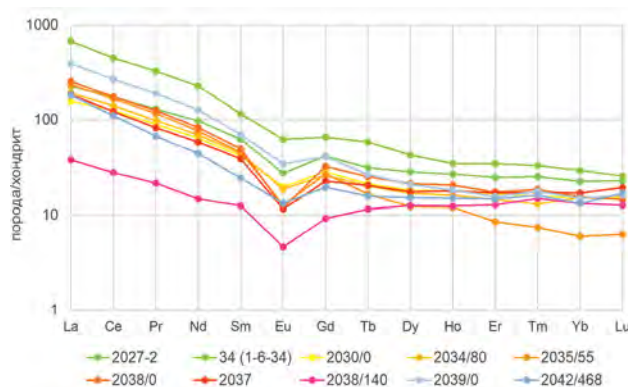


Рис. 7. Спектры редкоземельных элементов пород учатского мигматит-гранитового комплекса

Источник: составлено автором В. И. Шпикерманом на основе [22]

Fig. 7. Rare earth element spectra of the Uchat migmatite-granite complex rocks

Source: adapted by the author V. I. Shpikerman from [22]

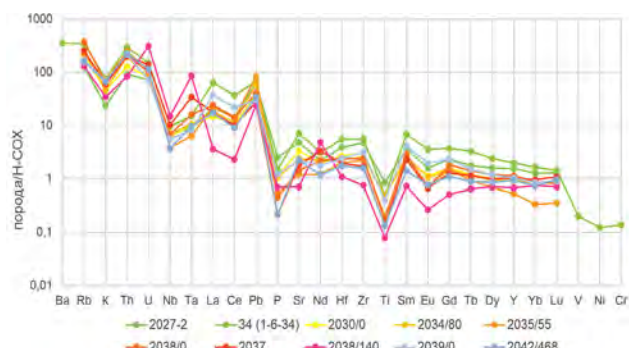


Рис. 8. Спайдер-диаграмма для пород учатского мигматит-гранитового комплекса

Источник: составлено автором В. И. Шпикерманом на основе [22]

Fig. 8. Spider diagram for the Uchat migmatite-granite complex rocks

Source: adapted by the author V. I. Shpikerman from [22]

Таблица 3

Содержания породообразующих окислов (масс. %) и микроэлементов (г/т) в породах хобойской толщи рифея в Учатском блоке

Table 3. Contents of rock-forming oxides (wt.%) and microelements (g/t) in rocks of the Riphean Khoboy Unit in the Uchat Block

| № п/п                            | 1         | 2                           | 3                | 4                        | 5                 |
|----------------------------------|-----------|-----------------------------|------------------|--------------------------|-------------------|
| № пр.                            | 2038/750  | 2038/1112                   | 2038/850         | 2038/800                 | 2020/300          |
| Порода                           | Амфиболит | Мигматизированный амфиболит | Гнейс биотитовый | Гнейс сульфидизированный | Гнейс двуслюдяной |
| SiO <sub>2</sub>                 | 48,30     | 50,30                       | 66,50            | 67,70                    | 71,00             |
| TiO <sub>2</sub>                 | 1,18      | 2,30                        | 1,00             | 0,69                     | 0,36              |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 14,60     | 12,80                       | 15,40            | 11,60                    | 14,00             |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * | 13,20     | 11,80                       | 5,63             | 7,18                     | 3,53              |
| MnO                              | 0,19      | 0,14                        | 0,067            | 0,069                    | 0,069             |
| MgO                              | 7,88      | 6,36                        | 1,92             | 2,47                     | 0,98              |
| CaO                              | 9,30      | 9,54                        | 1,80             | 3,39                     | 1,58              |
| Na <sub>2</sub> O                | 2,00      | 3,62                        | 1,96             | 2,39                     | 0,33              |
| K <sub>2</sub> O                 | 1,61      | 0,41                        | 3,86             | 2,39                     | 6,24              |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>    | 0,084     | 0,40                        | 0,10             | 0,86                     | 0,10              |
| ппп                              | 1,65      | 2,40                        | 1,78             | 1,24                     | 1,71              |
| Сумма                            | 100,00    | 100,00                      | 100,00           | 100,00                   | 99,90             |
| Микроэлементы                    |           |                             |                  |                          |                   |
| La                               | 4,59      | 26,30                       | 40,80            | 31,5                     | 37,00             |
| Ce                               | 10,10     | 52,30                       | 84,40            | 66,2                     | 84,10             |
| Pr                               | 1,47      | 6,48                        | 10,60            | 8,11                     | 9,24              |
| Nd                               | 7,01      | 26,10                       | 38,50            | 30,3                     | 34,80             |
| Sm                               | 2,35      | 5,99                        | 7,90             | 7,03                     | 7,42              |
| Eu                               | 0,81      | 2,01                        | 1,31             | 1,15                     | 0,93              |
| Gd                               | 2,70      | 5,60                        | 6,84             | 6,41                     | 6,54              |
| Tb                               | 0,49      | 0,76                        | 0,93             | 0,96                     | 1,03              |
| Dy                               | 2,67      | 4,18                        | 5,03             | 5,69                     | 6,47              |
| Ho                               | 0,69      | 0,85                        | 1,08             | 1,28                     | 1,35              |



| № п/п  | 1         | 2                           | 3                | 4                        | 5                 |
|--------|-----------|-----------------------------|------------------|--------------------------|-------------------|
| № пр.  | 2038/750  | 2038/1112                   | 2038/850         | 2038/800                 | 2020/300          |
| Порода | Амфиболит | Мигматизированный амфиболит | Гнейс биотитовый | Гнейс сульфидизированный | Гнейс двуслюдяной |
| Er     | 1,84      | 2,21                        | 2,96             | 3,97                     | 3,76              |
| Tm     | 0,25      | 0,34                        | 0,46             | 0,68                     | 0,54              |
| Yb     | 1,52      | 2,29                        | 2,94             | 4,63                     | 3,55              |
| Lu     | 0,25      | 0,33                        | 0,48             | 0,71                     | 0,47              |
| V      |           |                             |                  |                          |                   |
| Cr     |           |                             |                  |                          |                   |
| Ni     |           |                             |                  |                          |                   |
| Rb     | 71,20     | 13,00                       | 143,00           | 126,00                   | 241,00            |
| Sr     | 136,00    | 226,00                      | 67,10            | 58,20                    | 53,90             |
| Y      | 18,70     | 22,20                       | 27,20            | 38,10                    | 36,10             |
| Zr     | 62,40     | 188,00                      | 490,00           | 208,00                   | 211,00            |
| Nb     | 3,20      | 39,80                       | 16,70            | 9,67                     | 13,90             |
| Ba     |           |                             |                  |                          |                   |
| Hf     | 1,86      | 4,45                        | 11,40            | 4,87                     | 5,99              |
| Ta     | 0,22      | 2,23                        | 1,11             | 0,92                     | 1,24              |
| Pb     | 6,14      | 5,06                        | 9,19             | 8,67                     | 14,40             |
| Th     | 0,81      | 3,12                        | 14,50            | 9,16                     | 14,00             |
| U      | 0,27      | 0,82                        | 2,89             | 2,54                     | 4,57              |

Источник: [22]

Source: [22]

отрицательная аномалия Eu с тенденцией ее углубления к более кислым разностям, отрицательные аномалии P, Ti, положительная аномалия Pb.

Вмещающая уочатские гранитоиды хобойская толща, впервые выделенная на листе Р-55, также датирована U-Pb SIMS методом — началом позднего рифея (988–960 млн лет) [22]. В связи с высокой степенью

метаморфизма пород толщи в слагающих ее породах почти полностью утрачены структурно-вещественные признаки их первичного состава. Химический состав пород (табл. 3) позволяет сделать предположение, что мы имеем дело с метаморфизованной на уровне эпидот-амфиболитовой осадочно-вулканогенной толщей с бимодальной ассоциацией вулканитов. На этом

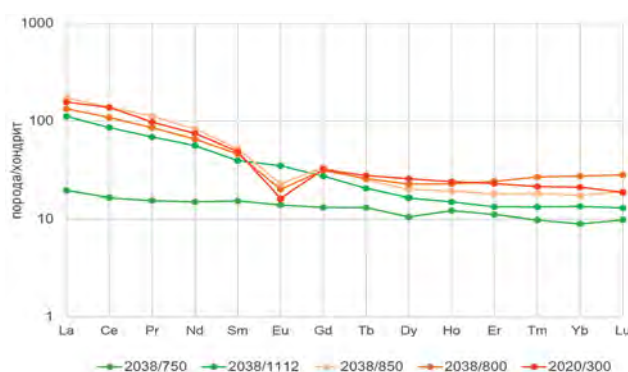


Рис. 9. Спектры редкоземельных элементов пород хобойской толщи рифея Уочатского блока

Источник: составлено автором В. И. Шпикерманом на основе [22]

Fig. 9. Rare earth element spectra of the Riphean Khoboy Unit rocks of the Uochat Block

Source: adapted by the author V. I. Shpikerman from [22]

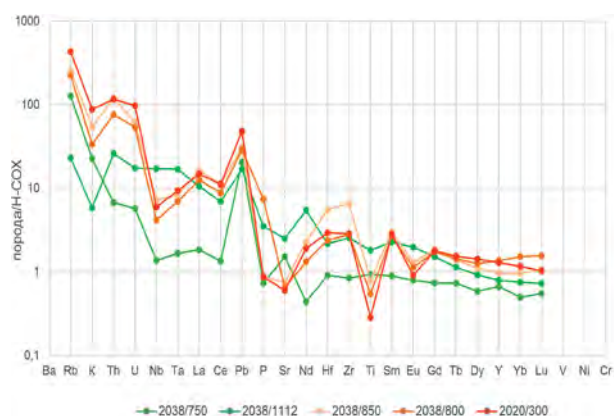
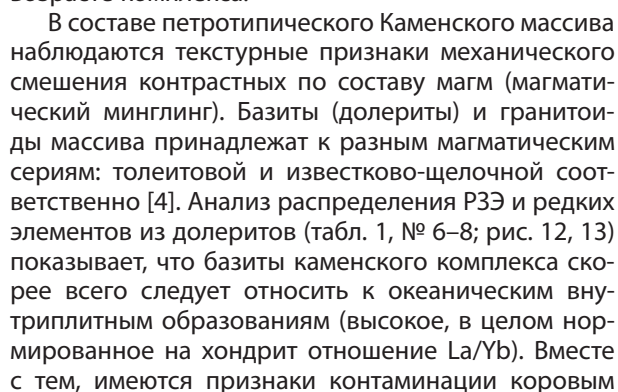


Рис. 10. Спайдер-диаграмма для пород хобойской толщи рифея Уочатского блока

Источник: составлено автором В. И. Шпикерманом на основе [22]

Fig. 10. Spider diagram for the Riphean Khoboy Unit rocks of the Uochat Block

Source: adapted by the author V. I. Shpikerman from [22]





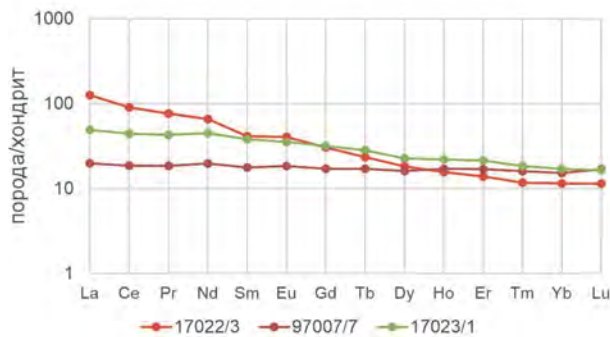


Рис. 12. Спектры редкоземельных элементов долеритов Каменского габбро-плагиогранитного массива

Источник: [4]

Fig. 12. Rare earth element spectra of the Kamensk gabbro-plagiogranite massif dolerites

Source: [4]

материалом (аномалия Pb, слабая отрицательная аномалия Ta-Nb, падение Ni и Cr без падения Ti). Эти данные в сочетании с признаками магматического минглинга более всего указывают на формирование каменского комплекса в обстановке закрытия энсиматического бассейна при транспрессионном взаимодействии континентальных блоков. Представляется, что это наиболее благоприятная обстановка для механического смешения контрастных по составу магм.

В содружестве исполнителей программы Госгеолкарта-1000/3 [26] со специалистами ГИН РАН получены новые данные о возрасте офиолитов хр. Черского (калгынский габбро-дунит-гарцбургитовый комплекс). До последнего времени доминировала точка зрения В. С. Оксмана [27] о палеозойском (силурийском) возрасте офиолитов. При этом не учитывались давно известные K-Ar, Ar-Ar и Rb-Sr датировки, указывающие на докембрийский (позднерифейский или вендский) возраст офиолитов [28–30], а также данные о кембрийских офиолитокластах в Рассошинском террейне Алазейско-Олойской складчато-надвиговой системы [31; 32]. В результате полевых работ, проведенных А. В. Ганелиным на петротипическом Калгынском массиве (лист R-54), получена U-Pb SIMS датировка метагаббро по циркону (рис. 14). Вариации значений возраста зерен циркона ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ) находятся в интервале 610–581 млн лет [33]. Эти данные, полученные современным методом датирования, свидетельствуют о позднедокембрийском, скорее всего позднерифейском возрасте офиолитов хр. Черского.

По данным В. С. Оксмана, А. В. Ганелина и др. [34], калгынские метагабброиды «по геохимическим особенностям разделяются на две группы: первая сопоставима с составами океанических базальтов, а другая — с островодужными толеитами». С другой стороны, габброиды, по мнению тех же авторов, «отражают последовательные стадии кристаллизации единого родительского расплава типа N-MORB в океанической геодинамической обстановке». Структурное положение изученных

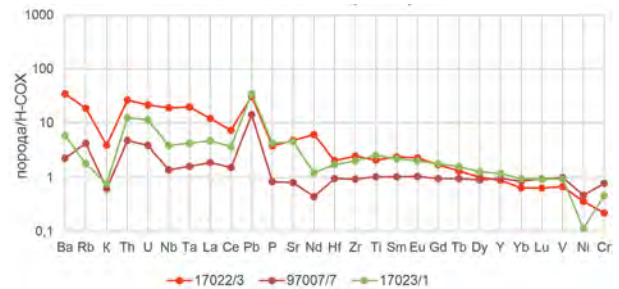


Рис. 13. Спайдер-диаграмма долеритов Каменского габбро-плагиогранитного массива

Источник: [4]

Fig. 13. Spider diagram for the Kamensk gabbro-plagiogranite massif dolerites

Source: [4]

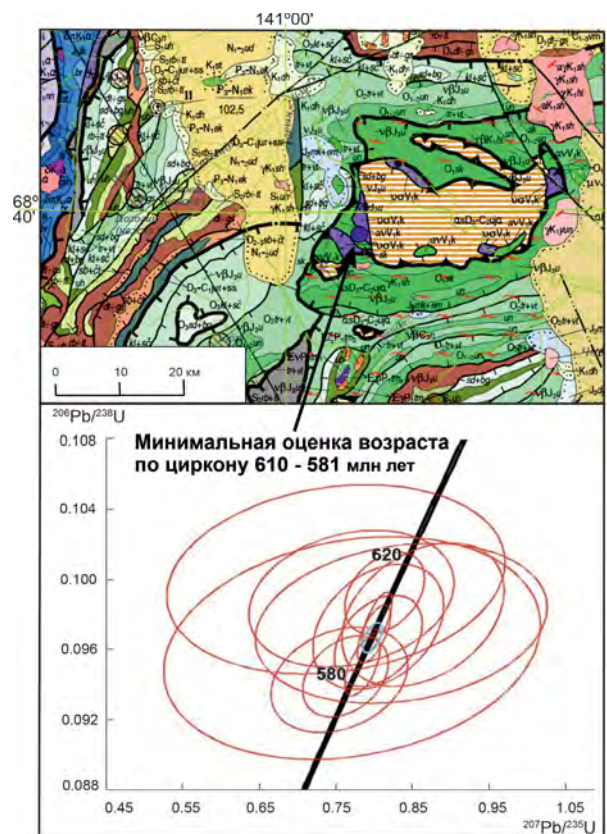


Рис. 14. Фрагмент Геологической карты дочетвертичных образований листа R-54 Госгеолкарты-1000/3 на участок петротипа калгынского габбро-дунит-гарцбургитового комплекса с данными U-Pb SIMS датирования. Темно-фиолетовый круг — место отбора пробы для датирования

Источник: составлено автором В. И. Шпикерманом на основе [26], данные U-Pb датирования — [33]

Fig. 14. Fragment of the Pre-Quaternary Formations geological map for the petrotype site of the Kalgyn gabbro-dunit-garzburgite complex (sheet R-54, the State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 1,000,000 (third generation)), with the U-Pb SIMS data included. The dark purple circle locates the sample site for dating

Source: adapted by the author V. I. Shpikerman from [26], the U-Pb SIMS data — [33]



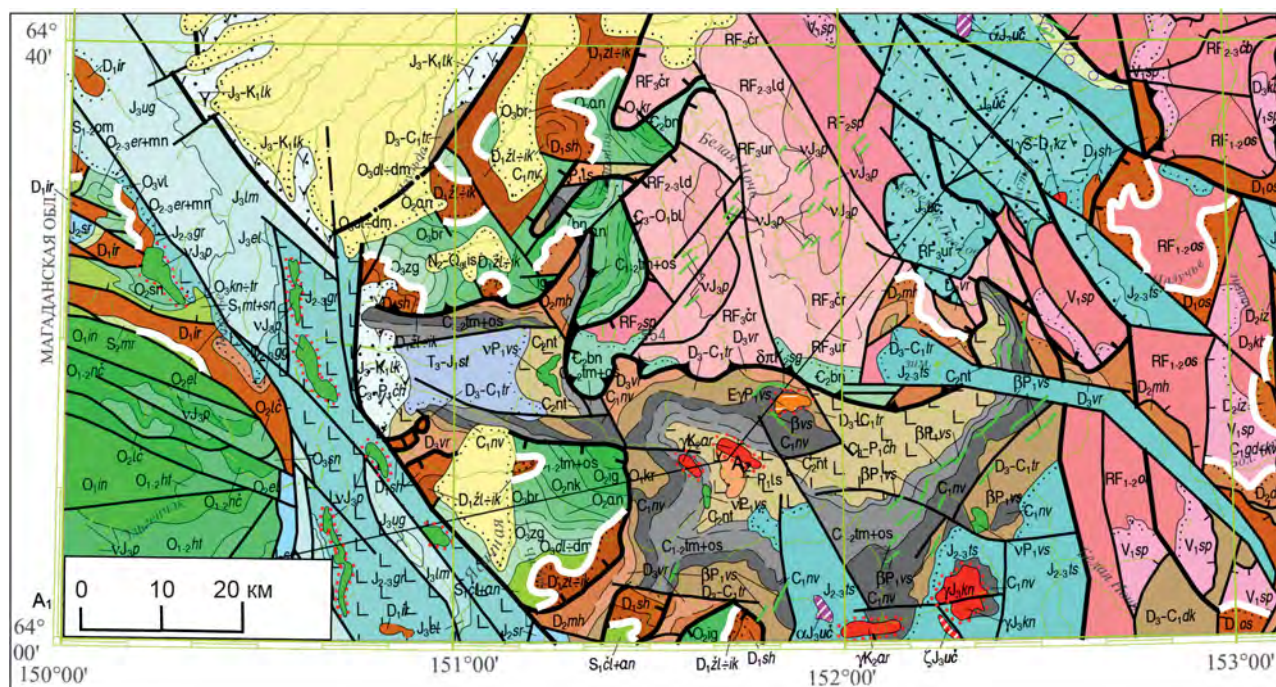


Рис. 15. Фрагмент юго-восточной части Геологической карты дочетвертичных образований листа Q-56 Госгеолкарты-1000/3. Границы структурных несогласий в подошве девонских отложений показаны белыми линиями

Источник: составлено автором В. И. Шпикерманом на основе [4]

Fig. 15. Southeastern fragment of the Pre-Quaternary Formations geological map (sheet Q-56, the State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 1,000,000 (third generation)). White lines display structural unconformity boundaries at the Devonian deposits base

Source: adapted by the author V. I. Shpikerman from [4]

габброидов внутри пакета надвиговых пластин (рис. 14) свидетельствует об обдукции офиолитов со стороны Алазейско-Олойской складчато-надвиговой системы на палеозойские образования карбонатного шельфа Омурского террейна.

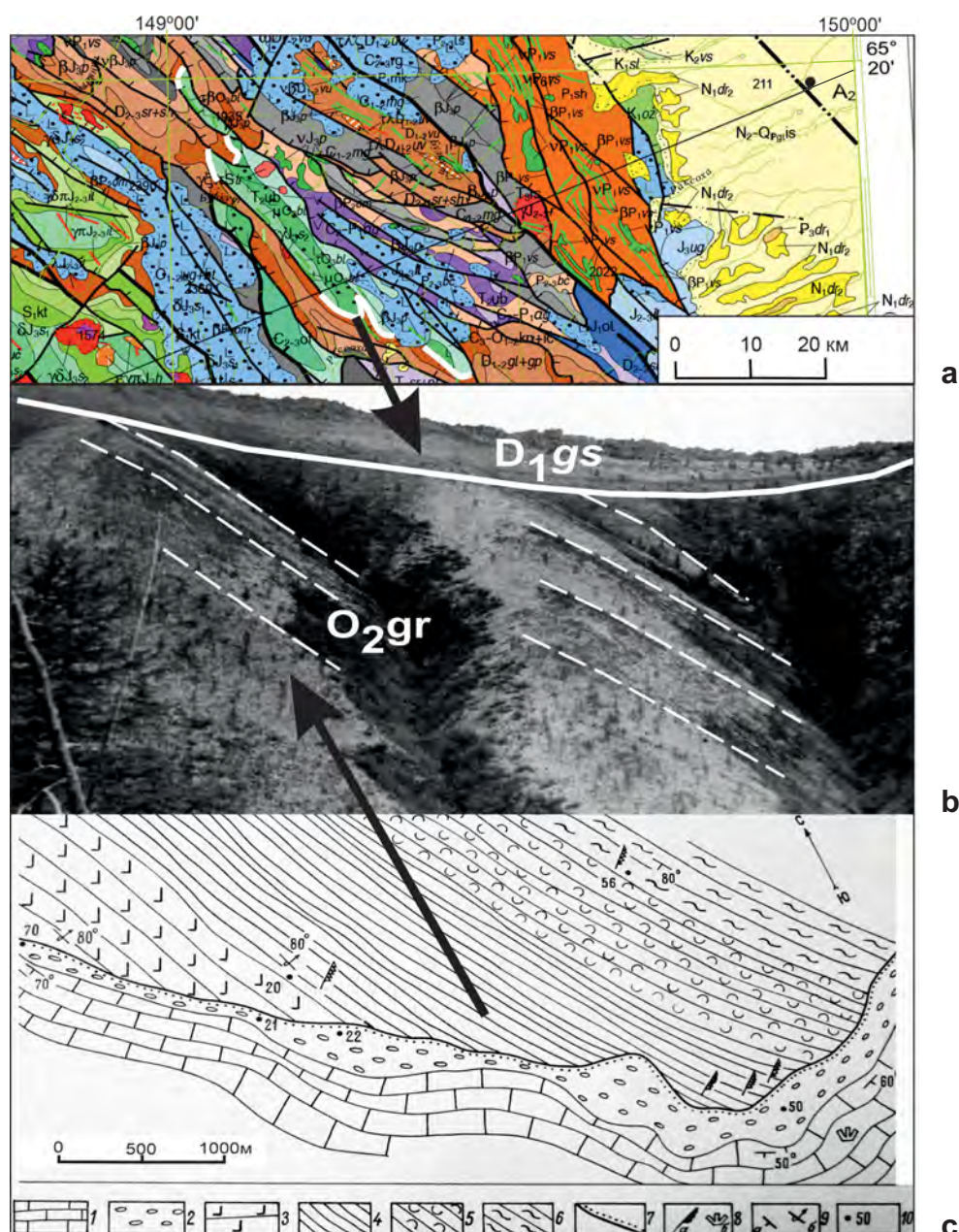
Важной эпохой магматизма, следующей за позднепериферийской в Верхояно-Колымской области, является ордовик. С этим периодом связан вулканизм в пределах Рассошинского террейна, установленный в середине 1960-х годов В. М. Мерзляковым [35; 36]. Комплекс вулкаников Рассошинской островной дуги ордовикского возраста достаточно детально изучен и описан в многочисленных отчетах и публикациях [37–39]. При составлении листа Q-55 Госгеолкарты-1000/3 вулканиды ордовика были выделены и закартированы в составе булкупского трахит-трахибазальтового осадочно-вулканогенного комплекса [18]. Некоторым дополнением к данным по ордовикскому магматизму было обоснование U-Pb SIMS методом на листе Q-56 Госгеолкарты-1000/3 средне-позднеордовикского возраста гороховского долеритового комплекса (460–445 млн лет). Предполагается, что гороховские долериты могут быть субвулканическими аналогами островодужных базальтоидов Рассошинского террейна [4]. Каких-то принципиально новых данных по тектогенезу и магматизму в ордовике при выполнении программы Госгеолкарта-1000/3 не получено, поэтому в настоящей работе эта эпоха не рассматривается. Новые важные данные получены по постордовикскому (силурийскому) тектогенезу и магматизму.

**Силурийский (преддевонский) тектогенез и магматизм.** Проявления силурийских (преддевонских) тектонических движений широко представлены на Северо-Востоке России в виде многочисленных угловых несогласий в основании девонских стратифицированных образований. В большом количестве такие несогласия закартированы в Приколмые на листе Q-56: нижние границы железнинской (лохков) и останцовской (прага) свит (рис. 15).

Весьма ярко проявлено преддевонское структурное несогласие в Рассошинском террейне. Впервые несогласие в основании девона на этой территории было описано В. М. Мерзляковым [36]. Однако автор вынужден вновь вернуться к обоснованию этого важного элемента геологического строения Рассошинского террейна. Так, до сих пор в некоторых публикациях высказываются положения, что «силурийские метаморфизм и деформации в Рассошинском террейне не установлены» [40, с. 8]. И то, и другое в Рассошинском террейне присутствует.

Резко несогласное залегание девонских отложений на интенсивно дислоцированных и метаморфизованных в зеленосланцевой фации осадочно-вулканогенных толщах ордовика отмечено во многих местах (рис. 16, а). Наиболее детально оно задокументировано В. М. Мерзляковым (1968 г.) на водоразделе левых притоков р. Рассоха — руч. Шумный и р. Серечен (рис. 16, б, в). В дальнейшем такое строение этого участка было подтверждено и дополнено находками конодонтовой фауны М. Х. Гагиевым





**Рис. 16. Преддевонское структурное несогласие Рассошинского террейна**

**a** — фрагмент геологической карты листа Q-55 Госгеолкарт-1000/3 [18] с указанием структурных несогласий в основании девонских отложений (белые линии); **b** — подошва гайской свиты лохкова ( $D_{1gs}$ ), перекрывающей с угловым несогласием филлиты и глинистые сланцы горелышевской толщи среднего ордовика ( $O_{2gr}$ ) (фото В. М. Мерзлякова, 1965 г.); **c** — Схема геологического строения на водоразделе руч. Шумный и р. Серечен (по материалам В. М. Мерзлякова, 1968 г.): **1, 2** — нижний девон (1 — калгарская свита — известняки, доломиты, 2 — гайская свита — базальные конгломераты, песчаники), **3** — верхний ордовик, булкуптская толща (трахибазальты, туфы), **4, 5** — средний ордовик (4 — горелышевская толща — глинистые сланцы, филлиты, туфы, 5 — биикская толща — туфы трахибазальтов, кремнистые аргиллиты), **6** — нижний–средний ордовик, иченская толща (филлиты, глинистые сланцы), **7** — граница несогласия, **8** — места соборов граптолитов (*a*), кораллов (*b*), **9** — залегание пород (*a* — нормальное, *b* — опрокинутое), **10** — точки наблюдения В. М. Мерзлякова

Источник: **a** — составлено автором В. И. Шпикерманом на основе [18]; **b** — фото В. М. Мерзлякова, 1965 г.; **c** — неопубликованные материалы В. М. Мерзлякова, 1968 г.

**Fig. 16. Pre-Devonian structural unconformity of the Rassoshino terrane**

**a** — fragment of sheet Q-56, the State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 1,000,000 (third generation)) [18], with structural unconformities at the Devonian deposits base (white lines) included; **b** — bottom of the Lokkov Gaisky Formation ( $D_{1gs}$ ), overlying the phyllites and clayey shales of the Middle Ordovician Gorelyshevo Unit ( $O_{2gr}$ ) with angular unconformity (photo by V. M. Merzlyakov, 1965); **c** — Geological structure diagram, the Shumnyy Creek and Serachen River watershed (from V. M. Merzlyakov, 1968): **1, 2** — Lower Devonian (1 — Kalgar Formation — limestones, dolomites, 2 — Gaisky Formation — basal conglomerates, sandstones), **3** — Upper Ordovician Bulkut Unit (trachybasalts, tuffs), **4, 5** — Middle Ordovician (4 — Gorelyshevo Formation — clayey shales, phyllites, tuffs, 5 — Biiskaya Unit — trachybasalt tuffs, siliceous argillites), **6** — Lower-Middle Ordovician, Ichenskaya Unit (phyllites, clayey shales), **7** — unconformity boundary, **8** — collecting points of graptolites (*a*), corals (*b*), **9** — rock bedding (*a* — normal, *b* — overturned), **10** — V. M. Merzlyakov's observation points

Source: **a** — adapted by the author: V. I. Shpikerman from [18]; **b** — photo by V. M. Merzlyakov, 1965; **c** — V. M. Merzlyakov's unpublished data, 1968



[41]. Аналогичные соотношения нижнедевонской гайской свиты с нижележащими дислоцированными и метаморфизованными отложениями ордовика установлены и на других участках Рассошинского террейна [38].

Кроме Приколмыя и Рассошинского террейна преддевонское структурное несогласие проявлено в Олонском кратонном террейне (основание кедонской серии девона на листах Р-57, Q-56,

Q-57) и на Охотском кратонном блоке (лист Р-54). На отдельных территориях нижняя граница этого несогласия опускается в верхний силур (основание мирненской свиты пржидолия северо-восточного края Омудевского террейна на листах Р-56, Q-56). В других случаях, наоборот, несогласие фиксируется в основании среднедевонских свит (лотосская свита Приколмыя, лист Q-56). Важно отметить, что в большинстве районов, где отчетливо проявлено

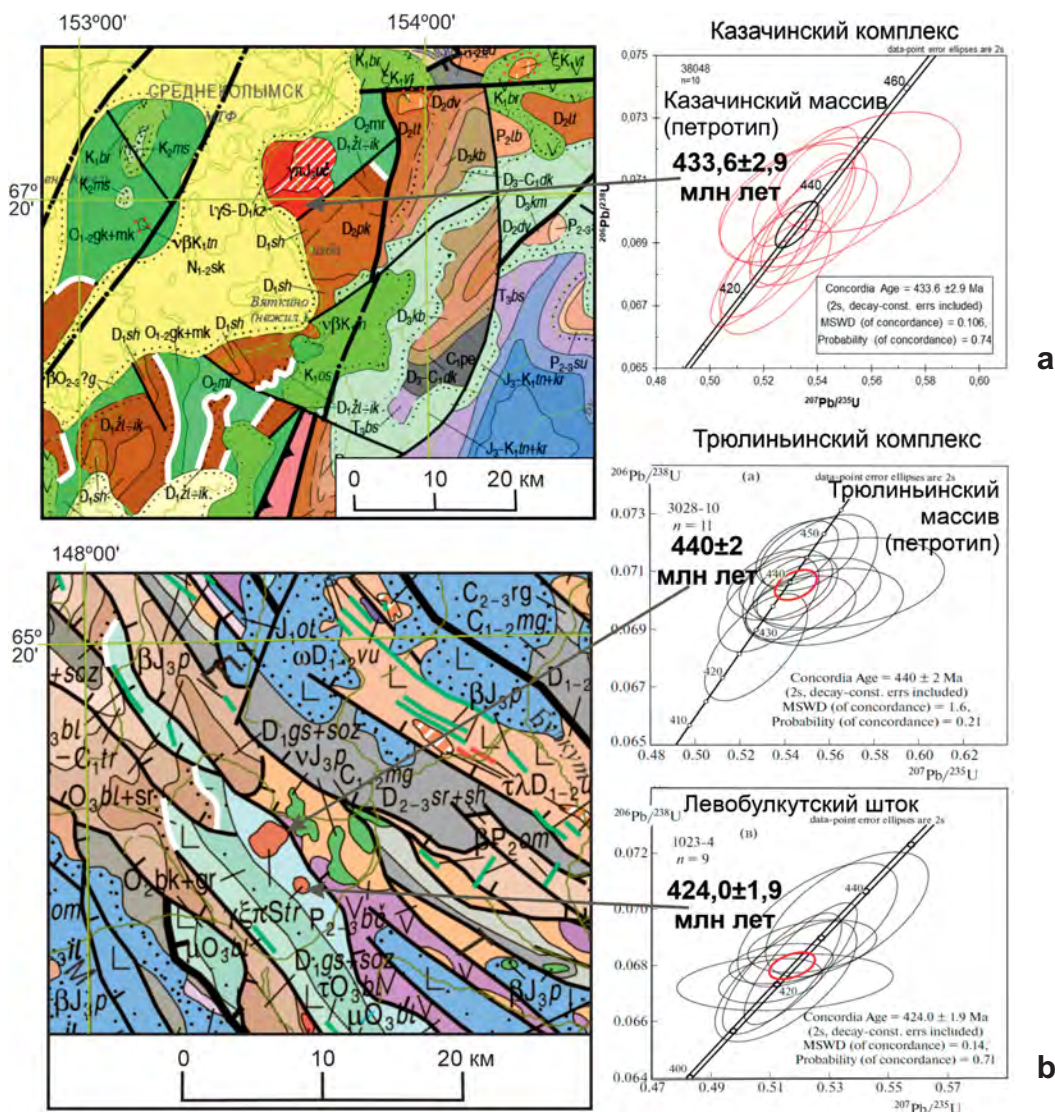


Рис. 17. Районы распространения вновь выявленных силурийских магматических комплексов на территории Верхояно-Колымской серии листов Госгеолкарты-1000/3 (белые линии — границы преддевонских структурных несогласий)

*a* — фрагмент Геологической карты дочетвертичных образований листа Q-56 Госгеолкарты-1000/3 с данными U-Pb датирования методом SIMS пород казачинского комплекса [4]; *b* — фрагмент геологической карты дочетвертичных образований листа Q-55 Госгеолкарты-1000/3 [18] с данными U-Pb датирования методом SIMS пород трюлиньинского комплекса [40]

Источник: *a* — составлено автором В. И. Шпикерманом на основе [4]; *b* — составлено автором В. И. Шпикерманом на основе [18; 40]

Fig. 17. Distribution areas of newly identified Silurian igneous complexes on the territory of the Verkhoyansk-Kolyma sheet series (State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 1,000,000 (third generation); white lines display Pre-Devonian structural unconformity boundaries)

*a* — fragment of the Pre-Quaternary Formations geological map (sheet Q-56, the State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 1,000,000 (third generation)), with the U-Pb SIMS data of the Kazachinskoye complex rocks included [4]; *b* — fragment of the Pre-Quaternary Formations geological map (sheet Q-55, the State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 1,000,000 (third generation)), with the U-Pb SIMS data of the Tryulinya complex rocks included [40]

Source: *a* — adapted by the author V. I. Shpikerman from [4]; *b* — adapted by the author V. I. Shpikerman from [18; 40]



**Содержания породообразующих окислов (масс. %) и микроэлементов (г/т) в гранитоидах силурийских комплексов: казахинского (№ 1–2) и трюлиньинского (№ 6–8)**

Table 4. Contents of rock-forming oxides (wt. %) and microelements (g/t) in granitoids of the Silurian complexes: Kazachinskoye (nos. 1–2) and Tryulinya (nos. 6–8)

| № п/п                          | 1       | 2       | 3      | 4      | 5      | 6       | 7       | 8       | 9      |
|--------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| № пр.                          | 38050/1 | 38048/0 | 3028/2 | 3028/1 | 3028/7 | 3028/10 | 3028/11 | 3028/9  | 1023/4 |
| Порода                         | εγ      | εγ      | δ      | γδ     | υπ     | γδ      | γδ      | γδ      | γ      |
| SiO <sub>2</sub>               | 69,80   | 72,20   | 52,50  | 62,20  | 67,50  | 67,80   | 68,3    | 68,50   | 69,80  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,05    | 0,06    | 0,64   | 0,30   | 0,25   | 0,26    | 0,28    | 0,28    | 0,25   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,70   | 14,90   | 18,20  | 16,80  | 15,60  | 16,00   | 16,10   | 15,90   | 15,5   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,44    | 0,61*   | 3,01   | 2,00   | 0,46   | 0,95    | 0,50    | 0,85    | 0,79   |
| FeO                            | 0,54    |         | 6,18   | 3,51   | 1,68   | 1,61    | 1,83    | 1,97    | 1,47   |
| MnO                            | 0,01    | 0,01    | 0,19   | 0,22   | 0,051  | 0,066   | 0,056   | 0,064   | 0,023  |
| MgO                            | 0,81    | 0,56    | 5,80   | 3,71   | 3,68   | 1,05    | 1,32    | 1,21    | 1,21   |
| CaO                            | 1,39    | 1,08    | 1,42   | 0,86   | 0,77   | 1,42    | 0,58    | 0,84    | 0,60   |
| Na <sub>2</sub> O              | 5,18    | 5,32    | 5,02   | 6,23   | 5,42   | 4,54    | 5,30    | 5,28    | 5,93   |
| K <sub>2</sub> O               | 3,69    | 3,97    | 2,68   | 1,98   | 2,84   | 4,07    | 4,74    | 3,60    | 3,45   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,03    | 0,03    | 0,37   | 0,13   | 0,12   | 0,12    | 0,14    | 0,12    | 0,13   |
| ппп                            | 2,00    | 1,55    | 3,72   | 2,02   | 1,54   | 2,20    | 1,01    | 1,38    | 0,96   |
| Сумма                          | 99,66   | 100,24  | 99,73  | 99,96  | 99,91  | 100,09  | 100,15  | 99,99   | 100,11 |
| <b>Микроэлементы</b>           |         |         |        |        |        |         |         |         |        |
| La                             | 2,34    | 3,33    | 23,4   | 25,20  | 13,30  | 17,00   | 18,20   | 17,60   | 15,50  |
| Ce                             | 4,48    | 6,89    | 49,8   | 45,20  | 27,20  | 31,60   | 33,50   | 32,70   | 28,70  |
| Pr                             | 0,65    | 0,83    | 6,46   | 4,930  | 3,39   | 3,49    | 3,86    | 3,71    | 2,92   |
| Nd                             | 2,32    | 3,55    | 28,3   | 19,20  | 13,30  | 14,40   | 14,70   | 14,80   | 10,80  |
| Sm                             | 0,83    | 0,87    | 6,61   | 3,72   | 2,47   | 2,80    | 2,82    | 2,91    | 1,91   |
| Eu                             | 0,39    | 0,28    | 2,47   | 1,35   | 0,80   | 0,92    | 0,82    | 0,86    | 0,53   |
| Gd                             | 1,24    | 0,90    | 6,59   | 3,56   | 2,30   | 2,33    | 2,37    | 2,27    | 1,30   |
| Tb                             | 0,20    | 0,14    | 0,83   | 0,45   | 0,32   | 0,28    | 0,29    | 0,29    | 0,16   |
| Dy                             | 1,18    | 0,71    | 4,62   | 2,38   | 1,71   | 1,70    | 1,53    | 1,54    | 0,80   |
| Ho                             | 0,19    | 0,12    | 0,95   | 0,45   | 0,31   | 0,31    | 0,28    | 0,30    | 0,14   |
| Er                             | 0,42    | 0,27    | 2,33   | 1,19   | 0,88   | 0,89    | 0,67    | 0,71    | 0,39   |
| Tm                             | 0,07    | 0,04    | 0,33   | 0,18   | 0,14   | 0,13    | 0,12    | 0,11    | 0,072  |
| Yb                             | 0,37    | 0,27    | 2,36   | 1,24   | 0,90   | 0,98    | 0,98    | 1,03    | 0,50   |
| Lu                             | 0,04    | 0,03    | 0,36   | 0,19   | 0,16   | 0,15    | 0,17    | 0,16    | 0,11   |
| V                              | 8,05    | 4,80    | 139,00 | 66,8   | 40,60  | 37,80   | 36,00   | 41,00   | 35,60  |
| Cr                             | 41,70   | 15,30   | 10,40  | 14,9   | 12,70  | 11,20   | 12,20   | 10,80   | 37,70  |
| Ni                             | 3,33    | 3,60    | 8,72   | 7,63   | 2,94   | 3,24    | 1,500   | 4,31    | 14,30  |
| Rb                             | н/д     | 66,70   | 66,50  | 65,8   | 63,90  | 94,50   | 77,20   | 70,30   | 52,40  |
| Sr                             | 372,00  | 366,00  | 199,00 | 173,00 | 132,00 | 142,00  | 63,80   | 200,00  | 36,10  |
| Y                              | 6,42    | 4,09    | 27,20  | 13,00  | 9,78   | 9,25    | 8,51    | 9,00    | 4,39   |
| Zr                             | 79,90   | 68,70   | 95,10  | 133,00 | 94,90  | 108,00  | 110,00  | 111,00  | 104,00 |
| Nb                             | 11,90   | 10,90   | 6,74   | 7,46   | 5,88   | 5,93    | 5,91    | 6,56    | 6,08   |
| Ba                             | 328,00  | 900,00  | 702,00 | 462,00 | 639,00 | 759,00  | 712,00  | 1060,00 | 812,00 |
| Hf                             | 3,05    | 2,56    | 2,70   | 3,63   | 2,55   | 2,93    | 3,21    | 3,01    | 3,04   |
| Ta                             | 0,81    | 0,55    | 0,39   | 0,61   | 0,41   | 0,53    | 0,51    | 0,54    | 0,51   |
| Pb                             | 5,29    | 6,32    | 4,27   | 14,70  | 9,99   | 6,75    | 5,16    | 6,12    | 3,29   |
| Th                             | 1,23    | 1,02    | 4,22   | 6,07   | 5,01   | 5,08    | 5       | 5,18    | 4,85   |
| U                              | 1,03    | 0,62    | 5,26   | 3,27   | 2,21   | 2,46    | 2,4     | 2,72    | 3,20   |

\*Объединенные ячейки окислов трех- и двухвалентного железа соответствуют Fe<sub>2</sub>O<sub>3общ.</sub>

\*The combined cells of three- and divalent iron oxides correspond to Fe<sub>2</sub>O<sub>3tot.</sub>

Источник: пробы 1, 2 — [4]; пробы 3–9 — [18]

Source: samples 1, 2 — [4]; samples 3–9 — [18]

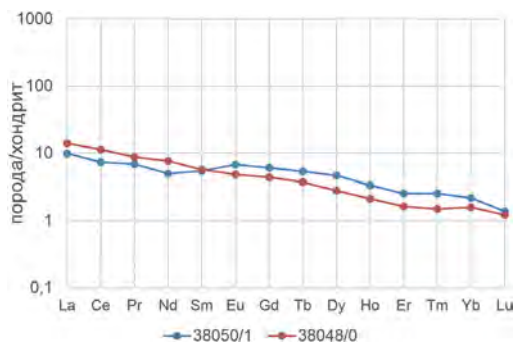


Рис. 18. Спектры редкоземельных элементов пород казачинского лейкогранитового plutонического комплекса

Источник: [4]

Fig. 18. Rare earth element spectra of the Kazachinskoye leucogranite plutonic complex rocks

Source: [4]

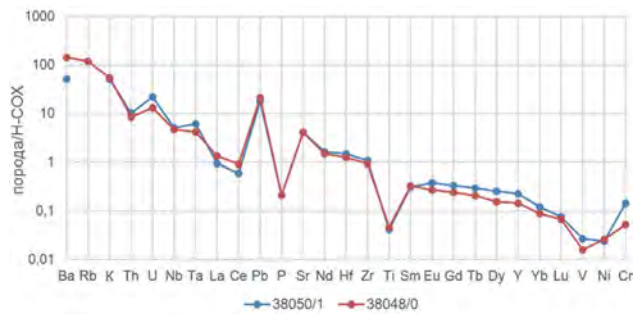


Рис. 19. Спайдер-диаграмма для пород казачинского лейкогранитового комплекса

Источник: [4]

Fig. 19. Spider diagram for rocks of the Kazachinskoye leucogranite complex

Source: [4]

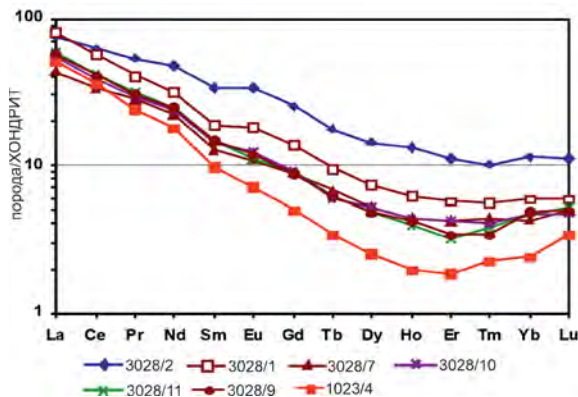


Рис. 20. Спектры редкоземельных элементов пород трюлиньинского граносиенит-порфирового комплекса

Источник: [18]

Fig. 20. Rare earth element spectra of the Tryulinye granosyenite-porphyrus complex rocks

Source: [18]

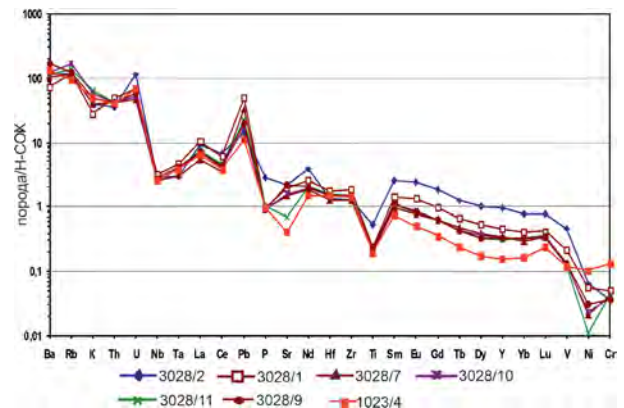


Рис. 21. Спайдер-диаграмма для пород трюлиньинского граносиенит-порфирового комплекса

Источник: [18]

Fig. 21. Spider diagram for the Tryulinye granosyenite-porphyrus complex rocks

Source: [18]

преддевонское структурное несогласие, из разреза почти полностью выпадает силура.

Тектогенез силура — начала девона сопровождается гранитоидным магматизмом, о котором до последнего времени мало что было известно. Лишь для Омолонского кратонного террейна имелись не очень достоверные сведения о силурийском возрасте некоторых массивов. В 2001 г. сотрудниками СВКНИИ ДВО РАН и ГП «Магадангеология» была опубликована статья «О силурийском магматизме и тектогенезе на Северо-Востоке Азии» [42]. Тогда, более 20 лет назад, широкое развитие силурийских гранитоидов лишь предполагалось по косвенным геологическим признакам. Сейчас, после выполнения программы Госгеолкарта-1000/3 и последующих работ по геологическому доизучению территории масштаба 1:200 000, это предположение стало фактом.

Силурийские гранитоиды благодаря U-Pb датированию установлены в различных частях рассматриваемой территории. Во-первых, подтвержден силурий-

ский возраст гранитоидов Коаргычанского ( $433,4 \pm 1,4$  млн лет) и сиенитов Анмандыканского ( $425,5 \pm 4,6$  и  $424,6 \pm 1,9$  млн лет) плутонов Омолонского кратонного террейна на листе P-57 [43]. Новыми открытиями на рассматриваемой территории стали казачинский комплекс в Приколывье на листе Q-56 [4], трюлиньинский комплекс в Рассошинском террейне на листе Q-55 [18; 40] (рис. 17).

U-Pb изотопный возраст силурийских гранитоидов, установленный методом SIMS, варьирует от  $440 \pm 2$  (Трюлиньинский массив) до  $424,6 \pm 1,9$  млн лет (Анмандыканский массив). В Казачинском массиве Приколывья, наряду с силурийской ( $433,6 \pm 2,9$  млн лет), получена раннедевонская (лохковская) U-Pb датировка ( $412 \pm 4$  млн лет). Отметим, что силурийские гранитоиды выявлены практически всюду, где установлено преддевонское структурное несогласие.

Химический и микроэлементный составы вновь выявленных силурийских магматических комплексов приведены в табл. 4. Гранитоиды обоих комплексов

относятся к семейству умереннощелочных. Среди пород казачинского комплекса существенную роль играют лейкократовые граниты. Породы трюлиньинского комплекса по составу в основном отвечают граносиенитам.

Геохимический спектр РЗЭ и редких элементов казачинского комплекса (рис. 18, 19) отражает анатектическую природу гранитоидов: высокие концентрации Ba, низкий уровень РЗЭ, минимумы для V, Ni, Cr, отсутствие отрицательных аномалий Eu и Ta-Nb. Наиболее вероятный геодинамический режим формирования гранитов комплекса — коллизия [4].

По своим основным петрохимическим и геохимическим характеристикам гранитоиды трюлиньинского комплекса более всего отвечают гранитам S-типа. Однако некоторые показатели (высокая магнетиальность, низкое калиево-натриевое отношение, отсутствие европиевого минимума и др.) близки к показателям гранитов толеитового ряда. Выполненный Д. Н. Ремизовым (письменное сообщение, 2021 г.) анализ распределения РЗЭ и редких элементов в породах трюлиньинского комплекса (рис. 20, 21) указывает на то, что рассматриваемые гранитоиды, вероятнее всего, имеют коллизионную природу и формировались при практически полном переплавлении исходного субстрата из магматических пород средне-основного состава (граувакк вмещающей иченской толщи).

Таким образом, оба вновь выявленных гранитоидных комплекса имеют отчетливые петрогеохимические признаки коллизионного происхождения. Наиболее вероятным тектоническим событием, приведшим к формированию этих комплексов, была аккреция ордовикской островной дуги к краю Сибири.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геологическое картографирование в рамках программы Госгеолкарта-1000/3 выявило ряд новых важных особенностей геологического строения Верхояно-Колымской складчато-надвиговой области и истории ее геологического и геодинамического развития в протерозое и первой половине палеозоя.

1. В пределах Приколымского террейна установлен аналог нижнепротерозойской (верхнекарельской) улканской серии юго-восточной части Сибирской платформы. Хакдонская серия Приколымья сопоставляется с эльгэтэйской свитой улканской серии. Петрогеохимические особенности бимодальной вулканической ассоциации хакдонской серии указывают на рифтогенную природу этих образований. Обнаружение аналога улканской серии во внутренних частях Верхояно-Колымской складчато-надвиговой области является еще одним подтверждением того, что Приколымский терреин и примыкающий к нему Омүлүвский терреин являются «отторженцами» Сибирского палеоконтинента [3].

2. Новые данные, полученные в террейнах-отторженцах Сибири в центральных частях Верхояно-Колымской области, свидетельствуют о том, что, начиная по крайней мере с конца среднего рифея

и до начала девона, существовала зона перехода континент (Сибирь) — океан (Палеоокеан?). Восточная (в современных координатах) окраина Сибири развивалась в основном в активном, скорее всего островодужном режиме. Тектонические движения среднего-позднего рифея, ордовика и силура сопровождались надсубдукционным (уочатский комплекс, хобойская толща) и коллизионным (каменский, казачинский, трюлиньинский комплексы) магматизмом. Элементами примыкавшей к Сибири активной окраины палеоокеана являются позднерифейские калгынские офиолиты, кембрийские офиолитокластиты Рассошинского террейна, ордовикская Рассошинская островная дуга. Коллизионный магматизм связан с аккрецией островных дуг к Сибири.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Версия 1.4. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. 169 с.
2. Террейны и аккреционная тектоника Северо-Востока Азии / Л. М. Парфенов [и др.] // Геотектоника. 1993. № 1. С. 68–78.
3. Шпикерман В. И. Домеловая минералогия Северо-Востока Азии. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 333 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Q-56 — Среднеколымск. Объяснительная записка / В. И. Шпикерман [и др.]; ред. В. Ф. Проскурнин. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2023. 556 с.
5. Circum-North Pacific tectonostratigraphic terrane map / W. J. Nokleberg [et al.] // U.S. Geol. Survey Open-File Report 94-714. 1994. 222 p. <https://doi.org/10.3133/ofr94714>.
6. Parfenov L. M. Accretionary history of Northeast Asia // Proceedings International Conference on Arctic Margins. Anchorage, Alaska, September 1992. Anchorage, Alaska : U.S. Department of the Interior, 1994. P. 183–188.
7. McDonough W. F., Sun S.-S. The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. No. 120. P. 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4).
8. Sun S.-S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / [Eds.] A. D. Saunders, M. J. Norry // Magmatism in the oceanic basins. Geological Society London Special Publications. 1989. No. 2. P. 313–345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>.
9. Ткаченко В. И. Докембрийские отложения в структуре Приколымского и Омүлүвского поднятия // Региональная геодинамика и стратиграфия Азиатской части СССР. Л., 1992. С. 49–64.
10. Решения Третьего межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и мезозою Северо-Востока России (Санкт-Петербург, 2002) / Ред. Т. Н. Корень, Г. В. Котляр. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 267 с.
11. Новые данные о возрасте докембрийских вулканитов хакдонской серии (Восточное Приколымье) / А. К. Худoley [и др.] // Докл. РАН. 2006. Т. 411(4). С. 505–509.
12. Возраст и тектоническое положение улканской серии — стратотипа верхнего карелия Восточной Сибири и Дальнего Востока / А. М. Ларин [и др.] // Докл. РАН. 2013. Т. 449, № 4. С. 447–451. <https://doi.org/10.7868/s0869565213100198>.
13. Гурьянов В. А., Песков А. Ю. Улканская палеорифтовая структура: особенности развития, геодинамическая обстановка (юго-восточное обрамление Сибирской



платформы) // Региональная геология и металлогения. 2015. № 62. С. 57–63.

14. Решения четвертого межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию и фанерозою юга Дальнего Востока и Восточного Забайкалья. Хабаровск : ХГП, 1994. 123 с.

15. Шпикерман В. И., Брусницына Е. А. Новая схема расчленения протерозойских образований Восточного Приколывья / Отв. ред. В. Ю. Фридовский // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 8–10 апреля 2020 г. Якутск : Издательский дом СВФУ, 2020. С. 159–163.

16. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-53 — Хандыга. Объяснительная записка / Г. Г. Казакова [и др.]; ред. Н. Ковалев. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2017. 431 с.

17. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Q-57 — Омогон. Объяснительная записка / В. М. Кузнецов [и др.]; ред. В. Ф. Проскурнин. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2024. 268 с.

18. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Q-55 — р. Мома. Объяснительная записка / Ю. А. Маланин [и др.]; ред. В. И. Шпикерман. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2021. 615 с.

19. Ткаченко В. И., Щербакова И. П. О строении и метаморфизме докембрия Приколывья // Метаморфические комплексы Северо-Востока СССР, их рудоносность и геологическое картирование. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1991. С. 74–87.

20. Мерзляков В. М., Лычагин П. П. Уочатский метаморфический комплекс // Вопросы геологии срединных массивов Северо-Востока СССР. Магадан : СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 56–63.

21. Государственная геологическая карта СССР (новая серия). Масштаб 1 : 1 000 000. Q-54, 55 (Хонуу). Карта дочетвертичных образований / Е. П. Сурмилова [и др.]; отв. ред.: Л. М. Натапов, Е. П. Сурмилова, гл. ред. Л. М. Натапов. Л. : Ленинградская картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 1986.

22. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-55 — Сусуман. Объяснительная записка / В. И. Шпикерман [и др.]; ред. В. И. Шпикерман, В. В. Петухов, Л. Р. Семенова. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 520 с.

23. Хандожко Н. В., Кравченко Л. В. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000. Серия Среднеколымская. Лист Q-55-XXXV, XXXVI (истоки р. Омчикчан). Объяснительная записка / Ред. В. М. Мерзляков. М. : Союзгосгеолфонд, 1990. 118 с.

24. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Колымская. Листы Q-56-XV, XVI (устье р. Лев. Каменки). Объяснительная записка / В. С. Шульгина [и др.]; ред. А. П. Кропачев. М. : МФ ВСЕГЕИ, 2015. URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/q-56/q-56-15,16/index.html> (дата обращения: 25.11.2024).

25. Протопопов Р. И. Девонские и меловые гранитоиды Приколывского поднятия. Якутск : Изд-во Академии наук Республики Саха (Якутия), 2010. 147 с.

26. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист R-54 — Депутатский. Объяснительная записка / М. В. Герцева [и др.]; ред. А. Ю. Егоров, Г. В. Шнейдер. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2022. 690 с.

27. Оксман В. С. Тектоника коллизионного пояса Черского (Северо-Восток Азии). ГЕОС, 2000. 269 с.

28. Горбов В. В., Загузина И. А. Первые определения абсолютного возраста метаморфических пород Колым-

ского срединного массива // ДАН СССР. 1971. Т. 197, № 5. С. 1131–1132.

29. Тектоника, магматические и метаморфические комплексы Колымо-Омолонского массива / Г. А. Гринберг [и др.]. М. : Наука, 1981. 359 с.

30. Первые  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  определения возраста магматических и метаморфических пород Верхояно-Колымских мезозой / П. Лейер [и др.] // ДАН СССР. 1993. Т. 329, № 5. С. 621–624.

31. Доордовикские офиолитокластиты Омупевского поднятия (Северо-Восток СССР) / А. П. Кропачев [и др.] // ДАН СССР. 1987. Т. 292, № 4. С. 941–944.

32. Шпикерман В. И., Мерзляков В. М. О базальных слоях палеозойского разреза Омупевского поднятия // Стратиграфия и палеонтология фанерозоя Северо-Востока СССР. Магадан : СВКНИИ ДВО АН СССР, 1988. С. 5–27.

33. Новые данные о возрасте Калгынского офиолитового массива коллизионного пояса Черского (Северо-Восток Азии): результаты U-Th-Pb (SIMS) геохронологических исследований / А. В. Ганелин [и др.] // Докл. РАН. 2022. Т. 506, № 2. С. 142–147. <https://doi.org/10.31857/S2686739722600631>.

34. Офиолитовые пояса арктических регионов Верхояно-Чукотской орогенной области: геодинамическая модель формирования / В. С. Оксман [и др.] // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 62–75. <https://doi.org/10.31857/S0016853X21050088>

35. Мерзляков В. М. Новый тип разреза ордовика на Колымском массиве // Колыма. 1967. № 7. С. 44–46.

36. Мерзляков В. М. Стратиграфия и тектоника Омупевского поднятия. М. : Наука, 1971.

37. Мерзляков В. М., Лычагин П. П. Об ордовикском вулканизме Северо-Востока СССР // Магматизм Северо-Востока СССР. М. : Наука, 1973. С. 207–212.

38. Мерзляков В. М., Лычагин П. П., Терехов М. И. Еще раз о проблеме Колымского массива // Геотектоника. 1980. № 1. С. 43–55.

39. Магматизм центральных районов Северо-Востока СССР / П. П. Лычагин [и др.]. Владивосток : ДВО АН СССР, 1989. 120 с.

40. Силурийский гранитоидный магматизм Рассохинского террейна (Северо-Восток России) / С. Н. Сычев [и др.] // Докл. РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 49, № 2. С. 7–12. <https://doi.org/10.31857/S2686739720100102>.

41. Гагиев М. Х. Стратиграфия девона и нижнего карбона Омупевского поднятия (Северо-Восток Азии). Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1995. 196 с.

42. Шпикерман В. И., Горячев Н. А., Егоров В. Н. О силурийском тектогенезе, магматизме и метаморфизме на Северо-Востоке Азии // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2001. Т. 1. С. 102–103.

43. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-57 — Эвенск. Объяснительная записка / В. М. Кузнецов [и др.]; ред. Т. Б. Русакова. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2022. 519 с.

## REFERENCES

1. Methodological guidelines for compiling and preparing for publication sheets of the State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 1,000,000 (third generation). Version 1.4. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory; 2019. 169 p. (In Russ.).

2. Terranes and accretionary tectonics of Northeast Asia / L. M. Parfenov [et al.]. *Geotectonics*. 1993; (1): 68–78. (In Russ.).

3. Shpikerman V. I. Pre-Cretaceous minerageny of North-East Asia. Magadan: SVKNII FEB RAS; 1998. 333 p. (In Russ.).

4. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Verkhoyansk-Kolyma series. Sheet Q-56 — Srednekolymsk. Explanatory note / V. I. Shpi-

- kerman [et al.]; Ed. V. F. Proskurnin. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory, 2023. 556 p. (In Russ.).
5. Circum-North Pacific tectonostratigraphic terrane map / W. J. Nokleberg [et al.]. *U. S. Geol. Survey Open-File Report 94-714*. 1994. 222 p. <https://doi.org/10.3133/ofr94714>.
  6. Parfenov L. M. Accretionary history of Northeast Asia. *Proceedings International Conference on Arctic Margins. Anchorage, Alaska, September 1992. Anchorage, Alaska: U.S. Department of the Interior*; 1994. P. 183–188.
  7. McDonough W. F., Sun S.-S. The composition of the Earth. *Chemical Geology*. 1995; (120): 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4).
  8. Sun S.-S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / [Eds.] A. D. Saunders, M. J. Norry. *Magma-tism in the oceanic basins. Geological Society London Special Publications*. 1989; (2): 313–345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>.
  9. Tkachenko V. I. Precambrian deposits in the structure of the Prikolymsky and Omulevsky uplifts. *Regional geodynamics and stratigraphy of the Asian part of the USSR*. Leningrad; 1992. P. 49–64. (In Russ.).
  10. Decisions of the Third Interdepartmental Regional Stratigraphic Conference on the Precambrian, Paleozoic and Mesozoic of the North-East of Russia (St. Petersburg, 2002) / [Eds.] T. N. Koren, G. V. Kotlyar. St. Petersburg: VSEGEI Publishing House; 2009. 267 p. (In Russ.).
  11. New data on the age of Precambrian volcanics of the Khakdon series (Eastern Kolyma region) / A. K. Khudoley [et al.]. *Reports of the Russian Academy of Sciences*. 2006; 411 (4): 505–509. (In Russ.).
  12. Age and tectonic position of the Ulkan series — the Upper Karelian stratotype of Eastern Siberia and the Far East / A. M. Larin [et al.]. *Reports of the Academy of Sciences*. 2013; 449 (4): 447–451. <https://doi.org/10.7868/s0869565213100198>. (In Russ.).
  13. Guryanov V. A., Peskov A. Yu. Ulkan paleorift structure: development features, geodynamic setting (southeastern framing of the Siberian platform). *Regional Geology and Metallogeny*. 2015; (62): 57–63. (In Russ.).
  14. Decisions of the fourth interdepartmental regional stratigraphic meeting on the Precambrian and Phanerozoic of the southern Far East and Eastern Transbaikalia. Khabarovsk: Khabarovsk State Geographical Institute; 1994. 123 p. (In Russ.).
  15. Shpikerman V. I., Brusnitsyna E. A. New scheme of dissection of Proterozoic formations of the Eastern Kolyma / [Ed.] V. Yu. Fridovsky. *Geology and mineral resources of the North-East of Russia: materials of the X All-Russian scientific and practical conference with international participation, April 08–10, 2020*. Yakutsk: Publishing house of NEFU; 2020. P. 159–163. (In Russ.).
  16. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Verkhoyansk-Kolyma series. Sheet R-53 — Khandyga. Explanatory note / G. G. Kazakova [et al.]; [Ed.] L. N. Kovalev. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2017. 431 p. (In Russ.).
  17. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Verkhoyansk-Kolyma series. Sheet Q-57 — Omolon. Explanatory Note / V. M. Kuznetsov [et al.]; [Ed.] V. F. Proskurnin. St. Petersburg: VSEGEI Publishing House; 2024. 268 p. (In Russ.).
  18. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Verkhoyansk-Kolyma series. Sheet Q-55 — Moma River. Explanatory Note / Yu. A. Malanin [et al.]; [Ed.] V. I. Shpikerman. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2021. 615 p. (In Russ.).
  19. Tkachenko V. I., Shcherbakova I. P. On the structure and metamorphism of the Precambrian of the Kolyma region. *Metamorphic complexes of the North-East of the USSR, their ore content and geological mapping*. Magadan: SVKNII FEB RAS; 1991. P. 74–87. (In Russ.).
  20. Merzlyakov V. M., Lychagin P. P. Uochatsky metamorphic complex. *Questions of geology of the middle massifs of the North-East of the USSR*. Magadan: SVKNII FESC AN USSR; 1977. P. 56–63. (In Russ.).
  21. State geological map of the USSR (new series). Scale 1 : 1,000,000 [Maps]. Q-54, 55 (Khonuu). Map of pre-Quaternary formations / E. P. Surmilova [et al.]; [Rep. ed.] L. M. Natapov, E. P. Surmilova; [Ch. ed.] L. M. Natapov. Leningrad: Leningrad cartographic factory VSEGEI; 1986. (In Russ.).
  22. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Verkhoyansk-Kolyma series. Sheet R-55 — Susuman. Explanatory note / V. I. Shpikerman [et al.]; [Eds.] V. I. Shpikerman, V. V. Petukhov, L. R. Semenova. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory; 2016. 520 p. (In Russ.).
  23. Khandozhko N. V., Kravchenko L. V. State Geological Map of the USSR. Scale 1 : 200 000. Srednekolymskaya Series. Sheet Q-55-XXXV, XXXVI (sources of the Omchikchan River). Explanatory note / [Ed.] V. M. Merzlyakov. Moscow: Soyuzsrogeolfond; 1990. 118 p. (In Russ.).
  24. State Geological Map of the Russian Federation, scale 1 : 200,000. Second edition. Kolyma series. Sheets Q-56-XV, XVI (mouth of the Lev. Kamenka River). Explanatory note / V. S. Shulgina [et al.]; [Ed.] A. P. Kropachev. Moscow: MF VSEGEI; 2015. URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/q-56/q-56-15,16/index.html> (accessed: 25.11.2024). (In Russ.).
  25. Protopopov R. I. Devonian and Cretaceous granitoids of the Kolyma uplift. Yakutsk: Publishing House of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia); 2010. 147 p. (In Russ.).
  26. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Verkhoyansk-Kolyma series. Sheet R-54 — Deputy. Explanatory note / M. V. Gertseva [et al.]; [Eds.] A. Yu. Egorov, G. V. Shneyder. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory; 2022. 690 p. (In Russ.).
  27. Oksman V. S. Tectonics of the Chersky collision belt (North-East Asia). GEOS; 2000. 269 p. (In Russ.).
  28. Gorbov V. V., Zagruzina I. A. First determinations of the absolute age of metamorphic rocks of the Kolyma median massif. *Reports of the USSR Academy of Sciences*. 1971; 197 (5): 1131–1132. (In Russ.).
  29. Tectonics, igneous and metamorphic complexes of the Kolyma-Omolon massif / G. A. Grinberg [et al.]. Moscow: Nauka; 1981. 359 p. (In Russ.).
  30. First  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  age determinations of igneous and metamorphic rocks of the Verkhoyansk-Kolyma mesozoids / P. Leier [et al.]. *Dokl. Academy of Sciences of the USSR*. 1993; 329 (5): 621–624. (In Russ.).
  31. Pre-Ordovician ophiolite clastites of the Omulevka uplift (North-East USSR) / A. P. Kropachev [et al.]. *Dokl. Academy of Sciences of the USSR*. 1987; 292 (4): 941–944. (In Russ.).
  32. Shpikerman V. I., Merzlyakov V. M. On the basal layers of the Paleozoic section of the Omulevsky uplift. *Stratigraphy and paleontology of the Phanerozoic of the North-East of the USSR*. Magadan: SVKNII DVO AN SSSR; 1988. P. 5–27. (In Russ.).
  33. New data on the age of the Kalgyn ophiolite massif of the Chersky collision belt (Northeast Asia): results of U-Th-Pb (SIMS) geochronological studies / A. V. Ganelin [et al.]. *Reports of the Russian Academy of Sciences*. 2022; 506 (2): 142–147. <https://doi.org/10.31857/S2686739722600631>. (In Russ.).
  34. Ophiolite belts of the Arctic regions of the Verkhoyansk-Chukotka orogenic region: geodynamic model of formation / V. S. Oksman [et al.]. *Pacific Geology*. 2003; 22 (6): 62–75. <https://doi.org/10.31857/S0016853X21050088>. (In Russ.).
  35. Merzlyakov V. M. New type of Ordovician section in the Kolyma massif. *Kolyma*. 1967; (7): 44–46. (In Russ.).
  36. Merzlyakov V. M. Stratigraphy and tectonics of the Omulevsky uplift. Moscow: Nauka; 1971. (In Russ.).
  37. Merzlyakov V. M., Lychagin P. P. On the Ordovician volcanism of the North-East of the USSR. *Magmatism of the North-East of the USSR*. Moscow: Nauka; 1973. P. 207–212. (In Russ.).
  38. Merzlyakov V. M., Lychagin P. P., Terekhov M. I. Once again about the problem of the Kolyma massif. *Geotectonics*. 1980; (1): 43–55. (In Russ.).

39. Magmatism of the central regions of the North-East of the USSR / P. Lychagin [et al.]. Vladivostok: Far Eastern Branch of the USSR Academy of Sciences; 1989. 120 p. (In Russ.).

40. Silurian granitoid magmatism of the Rassokhinsky terrane (North-East of Russia) / S. N. Sychev [et al.]. Reports of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences. 2020; 49 (2): 7–12. <https://doi.org/10.31857/S2686739720100102>. (In Russ.).

41. Gagiev M. Kh. Devonian and Lower Carboniferous stratigraphy of the Omulevsky uplift (North-East Asia). Magadan: SVKNII FEB RAS; 1995. 196 p. (In Russ.).

42. Shpikerman V. I., Goryachev N. A., Egorov V. N. On the Silurian tectogenesis, magmatism and metamorphism in North-East Asia. *Problems of Geology and Metallogeny of North-East Asia at the Turn of the Millennium*. Magadan: SVKNII FEB RAS; 2001. Vol. 1. P. 102–103. (In Russ.).

43. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Verkhoyansk-Kolyma series. Sheet P-57 — Evensk. Explanatory note / V. M. Kuznetsov [et al.]; [Ed.] T. B. Rusakov. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2022. 519 p. (In Russ.).

## Владимир Иосифович Шпикерман

Доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник отдела региональной геологии и полезных ископаемых Северо-Востока

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Scopus Author ID 6507051394  
ResearcherID LMP-8133-2024  
SPIN-код РИНЦ 2150-8249  
vladimir\_shpikerman@karpinskyinstitute.ru

## Vladimir I. Shpikerman

DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Chief Researcher, Department of Regional Geology and Mineral Resources of the Northeast

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia

Scopus Author ID 6507051394  
ResearcherID LMP-8133-2024  
RSCI SPIN-code 2150-8249  
vladimir\_shpikerman@karpinskyinstitute.ru

**Авторское выражение благодарности.** Прежде всего необходимо отметить выдающуюся роль геологов-съемщиков Северо-Востока России — авторов Государственных геологических карт предшествующих поколений. Ими создана основа, на которую опирались мы, составители геологических карт нового поколения. В части тематики настоящей статьи наиболее важное значение имели работы П. П. Лычагина, В. М. Мерзлякова, Л. М. Натапова, Б. В. Пепеляева, Е. П. Сурмиловой, М. И. Терехова, В. И. Ткаченко, В. А. Шишкина, В. С. Шульгиной, В. А. Ян-жин-шина. За высокий уровень организации проведения нового этапа работ по геологическому картографированию на Северо-Востоке России автор благодарит И. В. Вербицкого, Т. Н. Зубову, К. Н. Мазуркевича, О. В. Петрова, В. Ф. Проскурнина, М. Н. Свириденко. За многолетнее плодотворное сотрудничество при решении сложных геологических проблем региона автор благодарит коллег из ФГБУ «Институт Карпинского», а также других научных и производственных геологических организаций: В. В. Акинина, А. А. Аленичеву, А. В. Гавриша, М. В. Герасимову, Н. А. Горячева, М. В. Герцеву, В. Г. Данилова, А. Ю. Егорова, В. Г. Ермоленко, И. Л. Жуланову, Е. П. Исаеву, А. В. Коновалова, И. В. Котельникову, В. М. Кузнецова, Р. И. Кутыгина, О. Ю. Лебедеву, Ю. А. Маланина, Б. А. Марковского, В. В. Петухова, И. В. Полуботко, А. В. Прокопьева, В. Ф. Проскурнина, Р. И. Протопопова, Д. Н. Ремизова, Т. Б. Русакову, А. И. Ханчука, А. К. Худолея, М. А. Шишкина. С благодарностью вспоминаю о сотрудничестве с безвременно ушедшими прекрасными геологами В. Г. Ганелиным, М. Л. Гельманом, В. П. Карчавцем, И. Н. Котляром, А. П. Кропачевым, И. М. Миговичем, А. В. Радковым, В. И. Ткаченко, Л. Л. Фельдманом, В. С. Шульгиной, В. А. Ян-жин-шином.

**Acknowledgments.** Primarily, the role of mapping geologists of North-East Russia, the authors of state geological maps of previous generations, is outstanding. The new-generation geological map cartographers relied upon their fundamental pillars. The most important relevant works were by P. P. Lychagin, V. M. Merzlyakov, L. M. Natapov, B. V. Pepelyaev, E. P. Surmilova, M. I. Terekhov, V. I. Tkachenko, V. A. Shishkin, V. S. Shulgina, V. A. Yan-zhin-shin. The author thanks I. V. Verbitskiy, T. N. Zubova, K. N. Mazurkevich, O. V. Petrov, V. F. Proskurnin, M. N. Sviridenko for organizing highly a new stage of North-East Russia geological mapping. For long-term fruitful cooperation in solving complex geological problems of the region, the author thanks his colleagues from Karpinsky Institute, as well as other scientific and industrial geological organizations: V. V. Akinin, A. A. Alenicheva, A. V. Gavrish, M. V. Gerasimova, N. A. Goryachev, M. V. Gertseva, V. G. Danilov, A. Yu. Egorov, V. G. Ermolenko, I. L. Zhulanova, E. P. Isaeva, A. V. Konovalov, I. V. Kotelnikova, V. M. Kuznetsov, R. I. Kutygin, O. Yu. Lebedeva, Yu. A. Malanin, B. A. Markovskiy, V. V. Petukhov, I. V. Polubotko, A. V. Prokopyev, V. F. Proskurnin, R. I. Protopopov, D. N. Remizov, T. B. Rusakova, A. I. Khanchuk, A. K. Khudoley, M. A. Shishkin. I remember gratefully collaboration with the dearly departed wonderful geologists: V. G. Ganelin, M. L. Gelman, V. P. Karchavets, I. N. Kotlyar, A. P. Kropachev, I. M. Migovich, A. V. Radkov, V. I. Tkachenko, L. L. Feldman, V. S. Shulgina, V. A. Yan-zhin-shin.

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.  
**Conflict of interest:** the author declares no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 13.11.2024  
Одобрена после рецензирования 11.12.2024  
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 13.11.2024  
Approved after reviewing 11.12.2024  
Accepted for publication 28.12.2024



Научная статья

УДК 551.351.2:551.462:551.794(265.51)  
doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_95-114

**Ключевые слова:** палеогеография, неоплейстоцен, голоцен, Берингов пролив, сейсмоакустика, сеймостратиграфия, ледниковые отложения

**Благодарности:** Комплексный анализ данных и палеогеографические реконструкции осуществлены при поддержке гранта РНФ № 24-77-10058. Авторы выражают благодарность всем участникам экспедиции 2021 г. и членам команды НИС «Иван Киреев».

**Для цитирования:** Эволюция процессов морфоседиментогенеза прибрежного шельфа Берингии в условиях климатических перестроек позднечетвертичного времени / В. А. Жамойда [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 95–114. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_95-114](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_95-114)

Original article

UDC 551.351.2:551.462:551.794(265.51)  
doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_95-114

**Keywords:** palaeogeography, Neopleistocene, Holocene, Bering Strait, seismic acoustics, seismic stratigraphy, glacial deposits

**Acknowledgments:** Comprehensive data analysis and palaeogeographical reconstructions were supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-77-10058. The authors express their gratitude to all participants of the 2021 expedition and the Research Vessel Ivan Kireev team.



© В. А. Жамойда, А. Ю. Сергеев,  
Л. М. Буданов, Д. В. Рябчук, А. Г. Григорьев,  
И. А. Неевин, М. А. Мустафин, 2024

## Эволюция процессов морфоседиментогенеза прибрежного шельфа Берингии в условиях климатических перестроек позднечетвертичного времени

В. А. Жамойда✉, А. Ю. Сергеев, Л. М. Буданов,  
Д. В. Рябчук, А. Г. Григорьев, И. А. Неевин, М. А. Мустафин

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,  
[vladimir\\_zhamoida@karpinskyinstitute.ru](mailto:vladimir_zhamoida@karpinskyinstitute.ru)✉

**Аннотация.** Статья посвящена изучению проблем палеогеографии прибрежно-го шельфа Берингова моря в неоплейстоцене–голоцене на основе новых комплексных геолого-геофизических данных, полученных в 2021 г. ФГБУ «Институт Карпинского» в ходе морских работ, включавших 1150 км сейсмического профилирования, гидролокацию бокового обзора, многолучевое эхолотирование и подводную видеосъемку. В разрезах на сейсмических записях выделены и скоррелированы с морскими изотопными стадиями местные отражающие горизонты, что позволило охарактеризовать и проследить распространение пяти сейсмотолщ, охватывающих плиоцен–четвертичное время. Отложения всех сейсмотолщ, за исключением самой древней, были опробованы с помощью вибротрубки и бокс-корера. По результатам анализа сейсмоакустических профилей прослежено палеогеографическое развитие прибрежного шельфа Берингии, начиная со среднего неоплейстоцена. Установлены признаки шести регрессивных фаз в отложениях среднего и позднего неоплейстоцена, очевидно ставших причиной возникновения Берингийского перешейка. Определено время формирования двух комплексов конечно-моренных гряд, в том числе погребенных. В Анадырском заливе это конец среднего неоплейстоцена, в Беринговом проливе — вторая ступень верхнего неоплейстоцена. Рассчитана амплитуда опускания земной коры (–60 м) в восточной части Анадырского залива в среднем неоплейстоцене.

## Evolution of morphogenesis and sedimentation processes in the coastal shelf of Beringia during Late Quaternary climatic changes

V. A. Zhamoida✉, A. Yu. Sergeev, L. M. Budanov,  
D. V. Ryabchuk, A. G. Grigoriev, I. A. Neevin, M. A. Mustafin

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia, [vladimir\\_zhamoida@karpinskyinstitute.ru](mailto:vladimir_zhamoida@karpinskyinstitute.ru)✉

**Abstract.** The paper focuses on the problems of palaeogeography of the Bering Sea coastal shelf in the Neopleistocene–Holocene based on new geological and geophysical data obtained in 2021 by Karpinsky Institute during offshore operations, including 1,150 km of seismic profiling, side-scan sonar profiling, multibeam echo sounding, and underwater video observation. They identified local acoustic reflectors in the seismic records and associated them with marine isotope stages, which characterized and traced the distribution of five seismic units during the Pliocene–Quaternary time. A vibrating core and box corer sampled the deposits

**For citation:** Evolution of morphogenesis and sedimentation processes in the coastal shelf of Beringia during Late Quaternary climatic changes / V. A. Zhamoïda [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024; 31 (4): 95–114. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_95-114](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_95-114)

of all seismic units, except the oldest one. The analysis of seismic profiles traced the palaeogeographic development of the Bering coastal shelf dating from the Middle Neopleistocene. There were detected traces of six regressive phases in the Middle and Late Neopleistocene deposits, which apparently caused the Bering Isthmus Formation. The formation time of end-moraine ridges, including buried ones, was determined. In the Gulf of Anadyr, this is the end of the Middle Neopleistocene, in the Bering Strait — the second stage of the Upper Neopleistocene. There was established the amplitude of crustal subsidence (–60 m) in the eastern part of the Gulf of Anadyr in the Middle Neopleistocene.

## ВВЕДЕНИЕ

Берингия — сухопутный перешеек, связывавший северо-восточную Азию и Северную Америку в периоды глобальных оледенений в четвертичном периоде [32]. Данная статья посвящена изучению проблем палеогеографии неоплейстоцена–голоцена на основе новых комплексных геолого-геофизических данных, полученных ФГБУ «Институт Карпинского» (далее — Институт Карпинского) в ходе морских работ, выполненных в 2021 г. на прибрежном шельфе Берингова моря.

Базовые знания о донных отложениях и их площадном распространении на прибрежном шельфе Берингова моря получены советскими исследователями в 1950–1960 гг. [8; 19]. Тогда же было установлено, что одним из важнейших региональных факторов, повлиявших на процессы седиментогенеза в этом районе в четвертичное время, были трансгрессивно-регрессивные циклы, обусловленные периодическим изменением климата и неоднократным возникновением в результате регрессии моря сухопутного перешейка, что было преимущественно связано с похолоданием климата и оледенением [27; 28; 30; 35; 42; 43]. На Чукотском полуострове выделены палеобереговые линии средне-позднеоплейстоценовых трансгрессий (серия абразионно-аккумулятивных террас с абсолютными высотными отметками от 8 до 160 м). В прибрежной части Берингова моря, по данным анализа батиметрических карт, на глубинах моря 5–10, 12–18, 22–28, 32–38, 42–50, 55–65 м предполагалось существование подводных морских террас, а также кос и береговых валов, сформированных в ходе позднеоплейстоценовой регрессии бассейна [13]. Однако современные геолого-геофизические данные, полученные в ходе экспедиции Института Карпинского в 2021 г., подтверждают существование на дне моря только некоторых затопленных береговых форм.

Вопросы об изменении уровня Берингова моря в четвертичное время с учетом различных палеогеографических моделей и этапы развития региона подробно рассматриваются в многочисленных работах [1; 21; 37; 38; 44; 46; 51 и др.]. Для построения кривых изменения относительного уровня моря, показывающих критические глубины порога в пределах пролива в конце неоплейстоцена, в этих работах использовались определения возраста озерных, а также прибрежных отложений, отобранных на шельфе Берингова моря.

По этим данным, непрерывный сухопутный перешеек был прорван 16 тыс. лет назад, когда

относительный уровень моря достиг –52 м в Беринговом проливе (между п-овом Сьюард и Чукоткой) и –46 м в Анадырском проливе (между о. Святого Лаврентия и Чукоткой) [47; 48]. Радиоуглеродная датировка органического вещества, отобранного из грунтовой колонки в кровле слоя, предположительно континентальных отложений в пределах бывшей прибрежной равнины на глубине моря –50 м, составила 11 тыс. лет назад [38]. В работе [39] реконструируется голоценовая трансгрессия с резким ускорением в раннем голоцене. В публикации [31] приводятся факты увеличения числа холоднолюбивых видов моллюсков во время трансгрессий, т. е. при потеплении климата, что было связано с открытием Берингова пролива и поступлением с севера арктических вод.

По данным исследования грунтовых колонок, отобранных в 2009 г. в рамках российско-германского проекта KALMAR и охватывающих последние 180 тыс. лет, по комплексам фораминифер, содержанию крупных гранулометрических фракций и следам интенсивного растворения карбонатных микрофоссилий определено время открытия Берингова пролива в результате гляциоэвстатического подъема уровня океана [22; 25; 26; 36].

По разрезу керна из подводной долины Хоуп (пролив Коцебу, Аляска), отобранного в 53 м ниже современного уровня моря, в фораминиферах (*Elphidium excatum*) выявлено резкое изменение отношений  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$ , что интерпретируется как результат быстрого увеличения солёности вод. Этот факт, а также установленное изменение размерности осадков (от песка к алевроиту), позволили сделать вывод о переходе от эстуарных к полностью морским условиям [45]. Радиоуглеродная дата AMS, полученная по *E. excatum*, отобранной на этом контакте, определена в 11,26–12,37 тыс. лет назад [45]. Этот возраст согласуется с другими оценками возникновения Берингова пролива, основанными на данных из Чукотского моря [37].

Для палеогеографических реконструкций развития Берингова моря в позднем неоплейстоцене — голоцене использовались также результаты изучения в грунтовых колонках комплексов радиолярий [54] и диатомовых [33; 53].

Комплексный подход к определению океанографических и климатических изменений в Беринговом море во время последнего гляциального максимума и в голоцене использовался в работе [50]. Характеристика современного осадконакопления в прибрежной зоне Анадырского залива приводится в статье [15].

Среди работ, посвященных развитию природной среды в голоцене на прилегающих к Берингову проливу площадях, можно упомянуть статью [12]. На шельфе Чукотского моря по результатам сейсмического профилирования выявлены системы плиоцен-четвертичных погребенных палеодолин, что является результатом регрессивных периодов развития территории, когда значительные площади шельфа становились частью материковой суши [17]. Наряду с предположениями о речном генезисе долин не исключается возможность формирования врезов за счет кратковременных, но мощных сбросов талых вод [40], а также влияния неотектонических процессов [17]. Свой вклад определения возраста существования сухопутного перешейка между Чукоткой и Аляской внесли и археологи, проследившие миграцию через Берингийский мост (14,7–12,9 тыс. лет назад) [41; 56].

Параллельно с определением возраста регрессивных стадий развития региона возможно решение еще одной задачи, связанной с коренными перестройками климата, — это выявление на прибрежном шельфе ледниковых отложений кватерра, их характеристика, определение возраста и очерчивание границ континентального оледенения. Существование в прибрежной акватории Берингова моря конечной морены горно-долинного ледника предполагалось по литолого-морфологическим признакам, установленным в результате рекогносцировочного обследования морского дна северной части зал. Креста в 1978 г. сотрудниками морской группы ВСЕГЕИ с использованием специализированного геологического эхолотирования и подводных наблюдений [9]. В 1980–1987 гг. в ходе геологической съемки шельфа масштаба 1 : 200 000, проведенной ПГО «Севморгеология», предполагаемые конечные моренные образования были закартированы вдоль прибрежного шельфа.

Исходя из анализа современных публикаций, можно сделать вывод, что большая часть работ, посвященных возникновению и затоплению сухопутного моста через Берингов пролив, касается в основном событий, происходивших во время последнего похолодания в позднем неоплейстоцене и последующей голоценовой трансгрессии.

Полученный в ходе экспедиционных исследований 2021 г. и последующих лабораторных работ большой объем нового материала позволяет поставить и решить ряд новых геологических и палеогеографических задач. Целью настоящего исследования является выявление признаков континентального этапа морфоседиментогенеза в разрезах отложений неоплейстоцена, а также ориентировочное определение стратиграфической привязки этапов существования перешейка на основании анализа сейсмоакустических данных и изучения кернов четвертичных отложений. Дополнительно по положению в разрезе предполагается выяснить возраст ледниковых образований и создать достоверную схему их распространения на прибрежном шельфе северо-западной части Берингова моря.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы, положенные в основу данной статьи, получены в рейсе НИС «Иван Киреев» в августе–сентябре 2021 г. Геолого-геофизические работы выполнялись совместно с АО «Ромона» в рамках программы государственного геологического картирования масштаба 1 : 1 000 000 (ГК-1000/3) и включали сейсморазведку высокого (далее — СВР) и сверхвысокого (далее — ССВР) разрешения, многолучевое эхолотирование и гидролокацию бокового обзора (далее — ГЛБО) — 1150 пог. км, донный пробоотбор поверхностных отложений и вибробурение, сопровождающееся подводным видеонаблюдением — 84 станции. Геофизические работы производились по системе региональных прямолинейных профилей (рис. 1).

Сейсмические наблюдения осуществлялись с использованием трех сейсмоакустических приборно-аппаратурных комплексов, обеспечивающих различное разрешение при изучении приповерхностного геологического разреза. В зависимости от конкретных геологических условий в комплексе использовались три типа источников излучения: низкочастотный — пневматический источник («ION Sleeve Gun» объемом по 10 дюймов<sup>3</sup>) с центральной частотой зондирующего сигнала — 375 Гц или среднечастотный — электроискровой источник (спаркер GeoSource 800) с центральной частотой зондирующего сигнала 600 Гц совместно с сеймостанцией Geometrics Geo Eel CNT-2 и 48 канальной косой длиной 300 м. Во время всех перемещений судна велась запись высокочастотным параметрическим профилографом (EdgeTech, модель CHIRP 3300NM) с частотно модулируемым сигналом 2–10 кГц. Обработка полученных сейсмических данных выполнялась в программном пакете RadExPro, трассировка отражающих горизонтов осуществлена в Kingdom SMT. Съемка ГЛБО выполнялась параллельно с выполнением сейсмических профилей с помощью аппаратного комплекса 4200 SIDE SCAN SONAR SYSTEM (EdgeTech, США), рабочая частота 122 Кгц (НЧ). Запись данных велась в специализированном программном пакете EdgeTech Discover в формате \*.jsf. Многолучевой эхолот R2Sonic использовался в составе интегральной навигационной системы QINSy с обработкой данных в программе QPS Qimera.

Отбор кернов донных отложений проводился с применением вибрационной грунтовой трубки, позволившей вскрыть отложения четырех сейсмолотц на глубину по разрезу до 3 м, в том числе характеризующиеся высокой плотностью и значительно обогащенные грубообломочным материалом. Трубка оснащена пластиковыми вкладышами, что позволило получать ненарушенные керны. Поверхностные пробы осадков отбирались с помощью бокс-корера, для подводной видеосъемки использовалась «Подводная привязная видеосистема» (производство ООО «Подводная робототехника»).

Для проб грунтов выполнен гранулометрический анализ. Ситовой анализ песчаных отложений и миктитов выполнялся с использованием анализаторной просеивающей машины AS 200 фирмы



Retsch. Гранулометрический состав тонкозернистых осадков проводился с помощью лазерного анализатора частиц «Микросайзер 201А» (производства «ВА Инстал») методом лазерной дифракции. Пробоподготовка для диатомового анализа выполнялась по упрощенной методике, описанной в [14]. Таксономическое определение диатомовых водорослей проводилось на световом микроскопе МИКМЕД-3 при увеличении в 1500 раз [24]. Для расчета относительной палеосолёности по методике, изложенной в работах [10; 11], проводилось измерение валовой концентрации брома на рентгеновском сканирующем кристалл-дифракционном спектрометре «СПЕКТРОСКАН-МАКС-Г».

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Четвертичные отложения на прибрежном шельфе Берингова моря развиты практически повсеместно. Выходы дочетвертичных пород или акустического фундамента фиксируются довольно редко. На рис. 2 показана сонарограмма подводного обнажения слоистых осадочных дочетвертичных образований.

На сейсмических разрезах устойчиво выделяются пять соотносимых с плиоцен-четвертичными отложениями сейсмотолщ (ССТ) (рис. 3, 4), разделенных отражающими горизонтами (ОГ).

Нижняя — ССТ 4 прослежена на акватории Берингова моря по архивным профилям МОГТ,

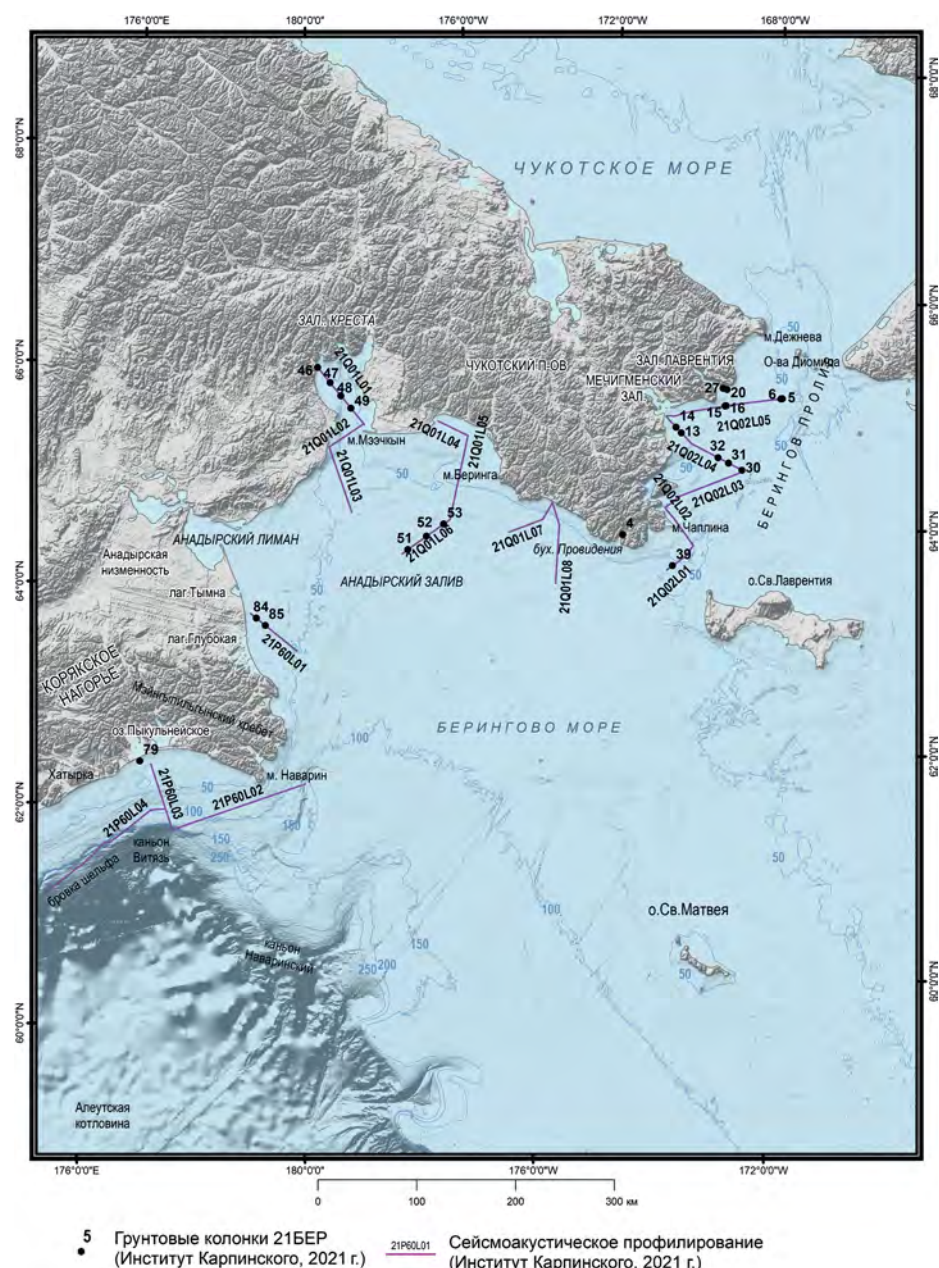


Рис. 1. Карта фактического материала геолого-геофизических работ в Беринговом море в рейсе НИС «Иван Киреев» в 2021 г.

Fig. 1. Map of actual geological and geophysical work in the Bering Sea during the Research Vessel Ivan Kireev cruise in 2021

выполненным различными организациями, в том числе ПГО «Сахалингеология», АО «Дальморнефтегеофизика», геологической службой США [2; 3]. Региональный горизонт СГ1, определяемый как подошва ССТ 4, прослеживается по локальным несогласиям на профилях МОВ-ОГТ [29] и на сейсмоакустических разрезах, выполненных в 2021 г. Толща характеризуется серией субпараллельных волнистых протяженных акустических границ. Отложения ССТ 4 заполняют локальные понижения в нижележащей толще. Внутри сейсмоторолщи иногда фиксируются зоны потери корреляции и явные смещения, вероятно, связанные с разрывными нарушениями. Такие зоны сконцентрированы вдоль северного берега Анадырского залива на удалении 10–20 км от берега. Кровля ССТ 4 — отражающий горизонт ОГ4 на акватории Берингова моря на сейсмических профилях прослеживается повсеместно, за исключением выходов акустического фундамента в районе мыса Наварин и участков распространения газонасыщенных осадков в зал. Креста. Горизонт ОГ4 — интенсивный, протяженный и четкий, выделен по границе несогласия, горизонт приближается к современной поверхности морского дна в прибрежной части разрезов и погружается в мористый, на шельфе он субгоризонтален и круто падает за его бровкой. Зачастую кровля ССТ 4 осложнена врезами. Мощность ССТ 4 очень изменчива. На границе Российской экономической зоны она может превышать 800 м, в зал. Креста зафиксирована мощность более 170 м (профиль 21Q1L02). В отдельных погребенных врезках в Мечигменском заливе мощность ССТ 4 не превышает 45 м (профиль 21Q02L04), а в районе, примыкающем к о. Аракамчечен (профиль 21Q02L02) и на севере Анадырского залива (профиль 21Q02L05), отложения толщи выклиниваются.

Сейсмоторолща ССТ 3 выделяется в разрезе преимущественно на 50 м ниже уровня моря и характеризуется сложной инфраструктурой записи, прерывистостью внутренних рефлекторов с частыми потерями корреляции, множеством внутренних границ средней и малой протяженности с разными углами падения, но на обширных площадях и субгоризонтальными (профили 21Q02L04 и 21Q02L05). Рефлективность в толще варьирует от высокой до практически акустически прозрачной, волновая картина сложная, с клиноформами, линзами и пластами небольшой мощности, что свидетельствует о крайне изменчивых условиях седиментации во время накопления отложений, слагающих ССТ 3. Особенно сильно проявляется сложная инфраструктура записи ССТ при увеличении ее мощности свыше 30–40 м. Горизонт ОГ3, ограничивающий ССТ 3 сверху, представляет собой хорошо прослеживаемую на сейсмических записях границу, часто осложненную врезами, пологими впадинами и сглаженными выступами. На открытом шельфе ССТ 3 достигает мощности 70 м (профиль 21Q1L08). В зал. Креста зафиксирована мощность 85 м (профиль 21Q1L01).

В прибрежной полосе южнее мыса Наварин, к северо-востоку от о. Аракамчечен и в зал. Креста выделена сейсмоторолща ССТ G, локально перекрывающая ССТ 3. В пределах зал. Креста для нее

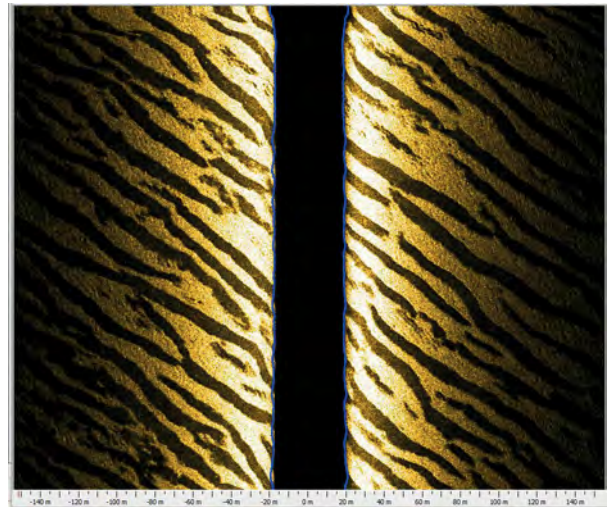


Рис. 2. Фрагмент сонорограммы (профиль 21Q01L08, восточная часть Анадырского залива) с подводным обнажением слоистых дочетвертичных пород (акустический фундамент)

Fig. 2. Fragment of a side-scan sonar image (profile 21Q01L08, eastern part of the Gulf of Anadyr) of underwater outcrop presenting layered Pre-Quaternary rocks (acoustic basement)

характерны хаотичные внутренние отражения, а за его пределами они напоминают чешуйчатые клиноформы (рис. 5). Ограничивающий ССТ горизонт ОГG представляет собой интенсивную границу сложной геометрии. По форме геологических тел ССТ G напоминает гряды со срезанной верхушкой, а ее мощность достигает 26 м (профиль 21Q1L07). В зал. Креста зафиксирована мощность ССТ G более 21 м (профиль 21Q1L02).

ССТ 2 выполняет локальные понижения в кровле нижележащих толщ, нивелируя их, и характеризуется серией субгоризонтальных отражающих границ в основании, которые повторяют геометрию подстилающего ОГ и вылаживаются вверх по разрезу, сменяясь хаотичной записью. Интенсивность внутренних отражений меняется по разрезу, но выдержана по латерали. По характеру записи можно предположить, что отложения ССТ 2 имеют преимущественно глинистый состав. Кровля сейсмоторолщи — горизонт ОГ2 относительно ровная субгоризонтальная граница средней интенсивности, иногда осложненная на юге Анадырского залива немногочисленными врезами. Граница четко фиксируется на сейсмических разрезах и записях высокочастотного профилографа, имеет широкое распространение в пределах шельфа и на значительных площадях выходит на современную поверхность морского дна. На ряде профилей толща разделяется контрастной внутренней границей — ОГ2' на две подтолщи: ССТ 2б и ССТ 2а, различные по инфраструктуре записи (рис. 5). Местами эта граница осложнена многочисленными неглубокими эрозийными врезами. ССТ 2б — нижняя из подтолщ, представленная на разрезах преимущественно сериями практически параллельных протяженных отражающих границ, а ССТ 2а на разрезах чаще имеет хаотичный характер записи.



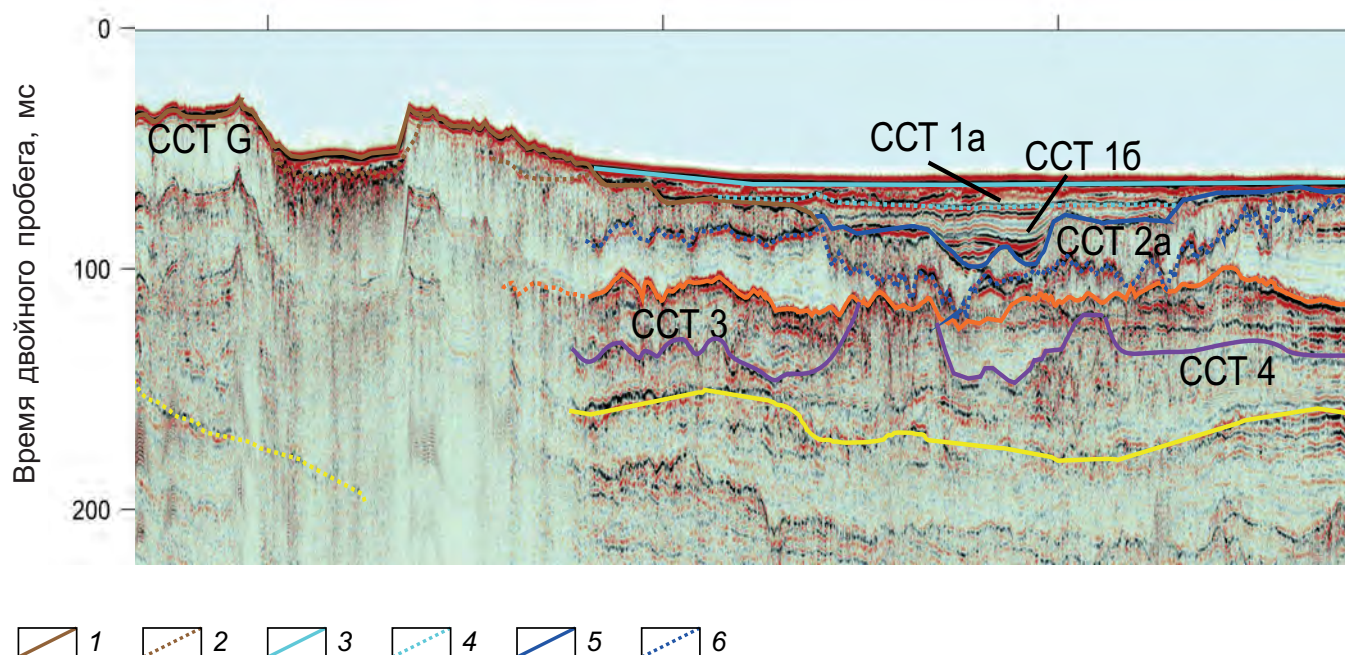


Рис. 3. Сейсмолиты (CCT) и отражающие горизонты (ОГ), выделенные на сейсмическом профиле 21Q02L04 от границы Российской экономической зоны до Мечигменского залива (профиль выполнен с использованием пневмопушки в качестве источника акустического сигнала)

1 — ОГ'; 2 — ОГГ (предполагаемый), 3 — ОГ1, 4 — ОГ1'; 5 — ОГ2, 6 — ОГ2'; 7 — ОГ3, 8 — ОГ3 (предполагаемый), 9 — ОГ4, 10 — CG1 (региональный отражающий горизонт), 11 — CG1 (предполагаемый)

Fig. 3. Seismic units (CCT) and reflecting horizons (OG) identified on seismic profile 21Q02L04 from the border of the Russian economic zone to the Mechigmen Bay (air gun as a source of an acoustic signal in the profile)

1 — OG'; 2 — OGG (supposed), 3 — OG1, 4 — OG1'; 5 — OG2, 6 — OG2'; 7 — OG3, 8 — OG3 (supposed), 9 — OG4, 10 — CG1 (regional reflecting horizon), 11 — CG1 (supposed)

CCT 26 достигает мощности в 45 м. Она выявлена преимущественно в открытой части шельфа, где несогласно перекрывает отложения CCT 3, и в наиболее глубоководных заливах, где она может залегать в основании четвертичного разреза. Кровля сейсмолиты — горизонт ОГ2' — четко фиксируется на сейсмических разрезах и записях высокочастотного профилографа, зачастую осложнена многочисленными врезами, ровная и субгоризонтальная только на участках выхода на современную поверхность морского дна.

Мощность CCT 2a не превышает 47 м. Кровля сейсмолиты — горизонт ОГ2 — это чаще всего выровненная субгоризонтальная граница, редко осложненная очень пологими U-образными врезами. Отложения довольно широко распространены в прибрежно-шельфовых районах Берингова моря, где локально выходят на поверхность дна. Они развиты преимущественно на глубине более 36 м современного уровня моря, что, возможно, соответствует относительно длительной стабилизации моря.

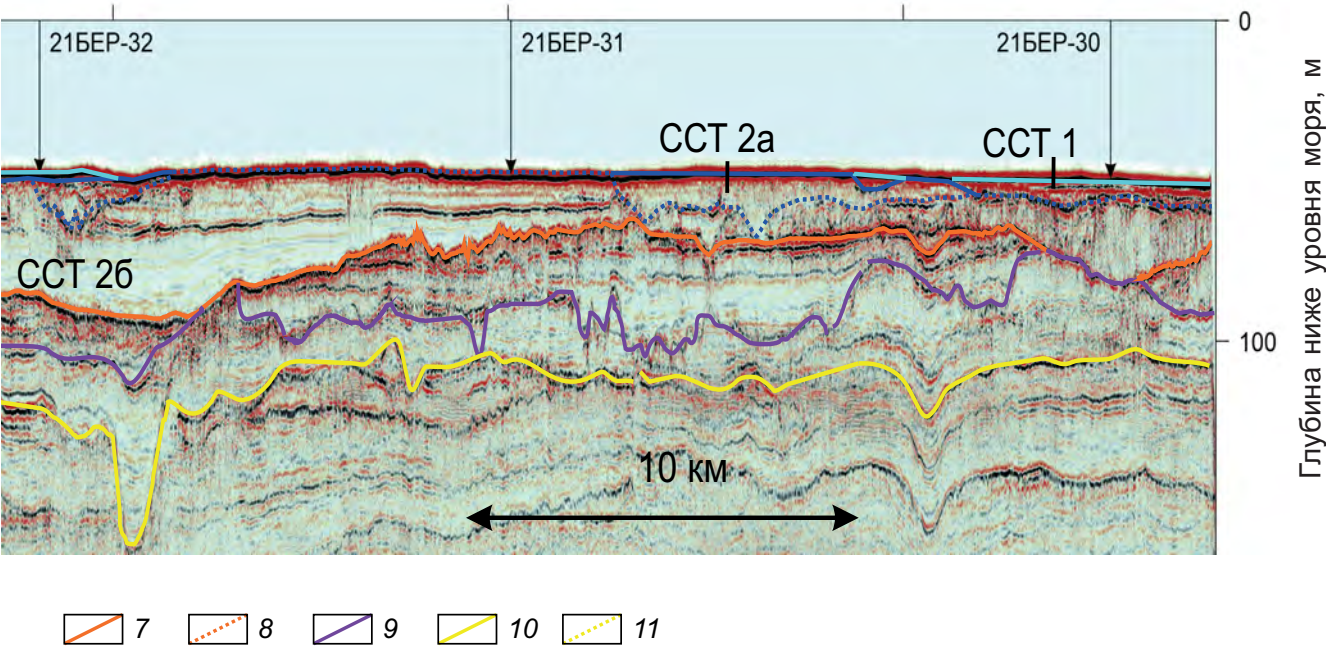
Сейсмолиты CCT 1, сопоставляемая с морскими отложениями голоцена, в седиментационных бассейнах по инфраструктуре схожа с CCT 2, но внутренние границы в ней более пологие, а интенсивность отражений зачастую выше. В относительно глубоких экзарационных ложбинах (котловинах)

ледникового выпахивания выявлены участки, в пределах которых на сейсмических разрезах фиксируются «акустические окна» (пропадание записи), что связано с газонасыщенными осадками. ОГ1, ограничивающий сейсмолиты CCT 1 сверху, совпадает с поверхностью дна. В пределах Берингова пролива толща разделяется на две различные по инфраструктуре записи подтолщи контрастной субгоризонтальной границей — ОГ1' (рис. 6).

Нижняя толща — CCT 16 — на разрезах отображается как серия взаимно параллельных отражающих границ, которые повторяют геометрию ниже лежащего ОГ. Мощность толщи достигает 34 м. CCT 1a — серия субгоризонтальных отражающих горизонтов средней интенсивности — завершает разрез современных седиментационных бассейнов. Мощность подтолщи обычно не превышает 10 м. Максимальная мощность 51 м установлена в зал Лаврентия.

В прибрежной части Берингова моря вне современных седиментационных бассейнов, в непосредственной близости от берега на разрезах также выделяется ограничивающая сейсмолиты CCT 1, интерпретируемая в этом случае как песчано-гравийные отложения затопленных аккумулятивных форм (рис. 7). Инфраструктура записи в них либо акустически прозрачная, либо с наклонными отражающими горизонтами. Мощность достигает 5 м.





ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе морских работ 2021 г. удалось опробовать с использованием вибротрубки все выделенные сейсмотолщи, за исключением CCT 4.

Отложения, соответствующие сейсмотолще CCT 4, широко распространены на шельфе Берингова моря и представлены, судя по буровым скважинам, вскрывшим их в береговой зоне при проведении ГСШ-200 в 1980-х годах пелитовыми алевритами, реже суглинками (миктитами) серого цвета, комковатыми, уплотненными, с темными полосами и пятнами, часто с мелким детритом раковин моллюсков. По результатам комплексных аналитических исследований, приведенным в неопубликованных отчетах ПГО «Севморгеология» и включавшим в том числе данные диатомового и спорово-пыльцевого анализа, отложения CCT 4 могут быть отнесены преимущественно к морским отложениям плиоцен-ранне-неоплейстоценового возраста ( $mN_2-l$ ).

Возраст отложений CCT 3 определяется по положению в разрезе, где они с явным размывом залегают на более древних рыхлых образованиях или коренном цоколе и перекрываются несогласно верхне-неоплейстоценовыми осадками. Предполагается, что отложения, слагающие CCT 3, накапливались в среднем неоплейстоцене. Отложения CCT 3 вскрыты в верхней части ее разреза в грунтовой колонке 21БЕР-5 длиной 190 см, но приповерхностные 37 см колонки характеризуются грубым и очень изменчивым гранулометрическим составом, в котором содержание гальки и гравия достигает 70 %. Очевидно, поверхностные отложения представляют собой горизонт размыва, т. е. могут быть отнесены к перлювию (подводный элювий). Таким образом, к собственно CCT 3 относятся нижележащие отложения.

Анализ распределения гранулометрического состава отложений по разрезу показал явный

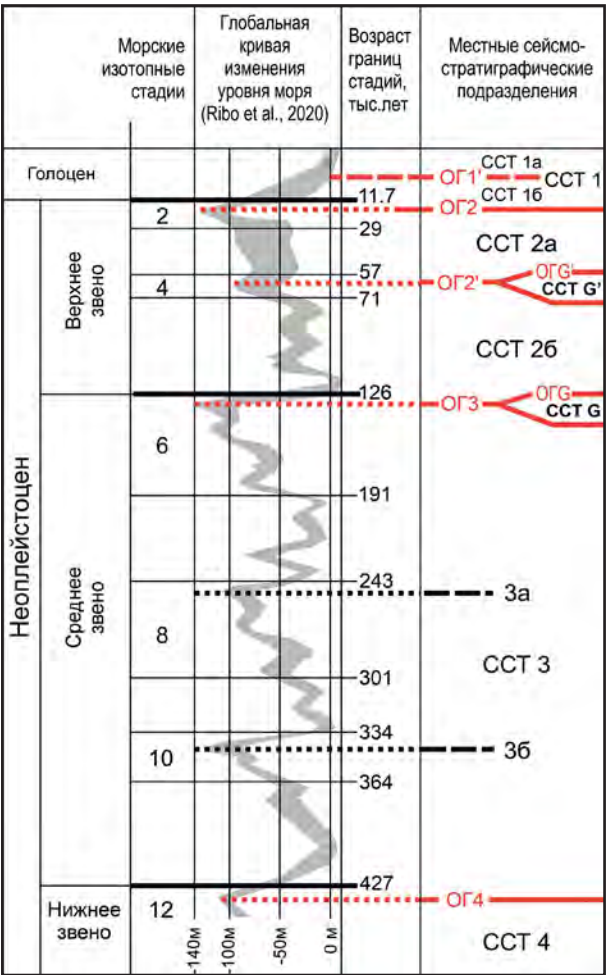


Рис. 4. Местная сеймостратиграфическая шкала

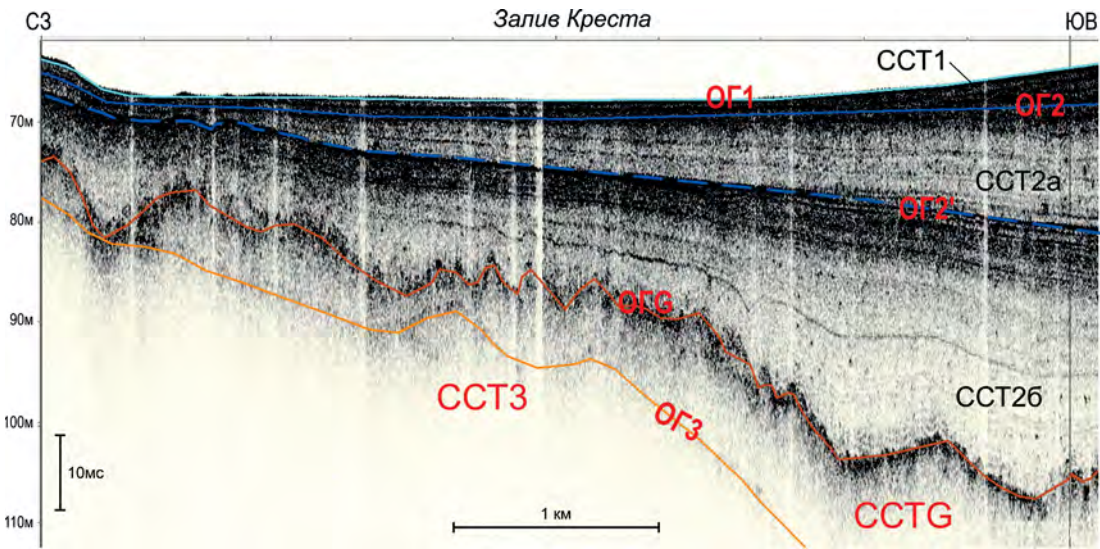
Источник: возраст границ морских изотопных стадий определен на основе [34]

Fig. 4. Local seismic stratigraphic chart

Source: the age of marine isotope stage boundaries is adapted from [34]

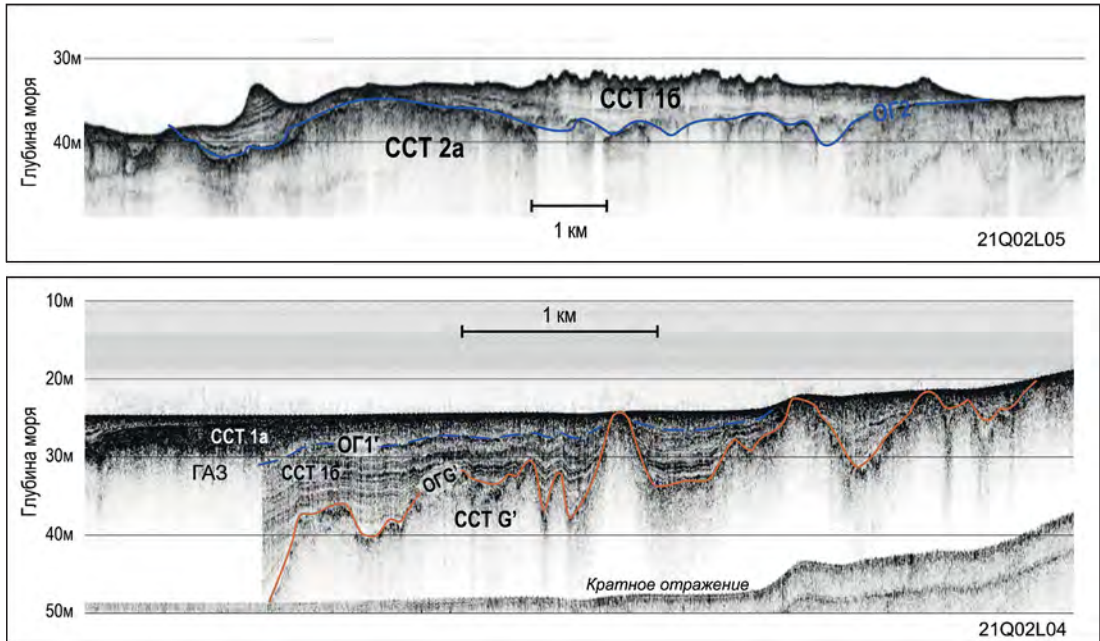
регрессивный тренд: от плотных, «сухих» темно-зеленовато-серых алевроглин с остатками раковин моллюсков и единичными гравийно-галечными зернами (ледовый разнос) в забое колонки до миктитов преимущественно алевроитового состава.

Распределение значений рассчитанной по содержанию брома палеосолёности по разрезу грунтовой колонки 21БЕР-5 делится на два интервала. В нижней части от отметки 190 до 120 см расчетная палеосолёность варьирует от 8 до 5 ‰, при этом



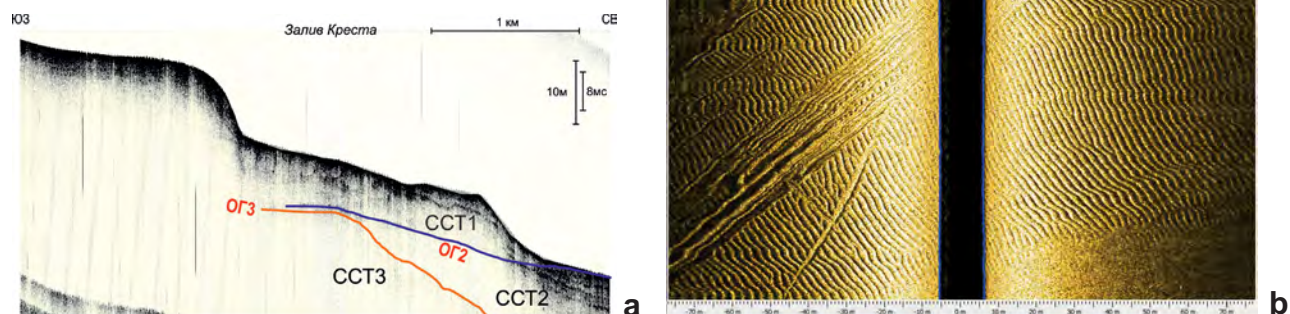
**Рис. 5. Фрагмент сейсмического профиля 21Q01L01 в зал. Креста (по данным параметрического профилографа)**  
Внутри сейсмотолщи CCT 2 пунктирной синей линией выделена граница изменения инфраструктуры записи, разделяющая сейсмотолщу CCT 2 на две подтолщи

**Fig. 5. Fragment of seismic profile 21Q01L01 in the Kresta Bay (by the high-frequency profiler)**  
Inside CCT 2, the blue dashed line indicates the boundary of the recording infrastructure change, dividing CCT 2 into two sub-units



**Рис. 6. Фрагменты сейсмических профилей 21Q02L05 и 21Q02L04 в районе Мечигменского залива (по данным параметрического профилографа): примеры строения сейсмотолщи CCT 1. Отложения преимущественно глинистые, ГА3 — газонасыщенные грунты**  
**Fig. 6. Fragments of seismic profiles 21Q02L05 and 21Q02L04 in the Mechigmen Bay area (by the high-frequency profiler): examples of CCT 1 structure. The deposits are predominantly of clayey composition, ГА3 — gas-saturated sediments**





**Рис. 7. Песчано-гравийные прибрежные аккумулятивные образования**

*a* — фрагмент сейсмического профиля 21Q01L02, пересекающего склон подводной террасы в устье зал. Креста (по данным параметрического профилографа); *b* — фрагмент сонарограммы профиля 21Q01L04 (к востоку от устья зал. Креста) через поле песчаных образований с крупными знаками ряби (песчаные волны) и следами выпаживания дрейфующими льдами

**Fig. 7. In-shore sand and gravel accumulative deposits**

*a* — fragment of seismic profile 21Q01L02, crossing the underwater terrace slope in the mouth of the Kresta Bay (by the high-frequency profiler); *b* — fragment of a side-scan sonar image of profile 21Q01L04 (to the east of the mouth of the Kresta Bay) through a sandy field with large ripple marks (sand waves) and drifting ice plough marks

наблюдается общая тенденция ее понижения вверх по разрезу, а на отметке 115 см рассчитанная палеосоленость падает до 2,8 ‰ и далее ее распределение варьирует в интервале от 1,8 до 0,02 ‰.

Данные диатомового анализа колонки 21БЕР-5т подтверждают солоноватоводный генезис отложений, опробованных на интервале 95–190 см, и общую регрессивную тенденцию развития бассейна с опреснением вод и увеличением интенсивности их перемешивания. При этом условия для развития диатомей становятся более благоприятными, т. е. можно предположить региональное смягчение климата, что может свидетельствовать о постепенном прекращении поступления холодных арктических вод через Берингов пролив [23].

На интервале 37–95 см резко падает концентрация створок диатомей в осадках, вероятно, из-за неблагоприятных условий для их развития, что можно интерпретировать как уменьшение уровня бассейна, о чем свидетельствует увеличение доли сублиторальных видов и увеличение интенсивности придонных течений, из-за чего тонкая фракция, к которым относятся створки диатомовых, не накапливалась при данной динамике вод, и происходило накопление только грубоокремненных форм (*Paralia sulcata*, *Thalassiosira gravida*) [23].

По совокупности данных установлено, что отложения, опробованные на интервале 37–95 см, накапливались в практически пресном мелководном бассейне. Современная глубина моря в точке отбора керна на станции 21БЕР-5 составляет 48,5 м, что соответствует глубине современного Берингова пролива; во время аккумуляции осадков этого

интервала керна, очевидно, существовал сухопутный «мост» между Азией и Америкой.

Учитывая, что даже в коротком керне на станции 21БЕР-5, вскрывшем лишь малую часть разреза ССТ 3, изменения, наблюдаемые для различных характеристик отложений, свидетельствуют о принципиальной смене процессов седиментации, можно утверждать, что эта толща, которую мы соотносим со средним неоплейстоценом, имеет полигенетический характер. На отдельных сейсмических профилях в наиболее мощных разрезах ССТ 3 можно наблюдать относительно протяженные внутренние отражающие поверхности, которые, как и местные отражающие горизонты ОГЗ (кровля) и ОГ4 (подшва), характеризуются наличием многочисленных неглубоких (до 10 м) палеоврезов. С высокой степенью достоверности можно предположить, что это врезы речной палеосети, свидетельствующие, что во время их формирования данная территория представляла собой сушу. В качестве примера приведем фрагмент сейсмического профиля 21Q01L08, пройденного в Анадырском заливе (рис. 8). Сопоставляя прослеженные по сейсмическому разрезу отражающие горизонты и внутренние для ССТ 3 отражающие поверхности с глобальной кривой изменения уровня моря [46; 52], можно допустить, что они соответствуют наиболее мощным регрессиям моря, обусловленным глобальными похолоданиями климата в среднем неоплейстоцене. Обращает на себя внимание, что глубина залегания этих горизонтов не совпадает с глубиной регрессии согласно современным кривым изменения уровня моря в среднем неоплейстоцене. Так, абсолютная глубина



тальвега вреза, расположенного в центральной части фрагмента профиля (21Q01L08), по ОГ4 составляет 160 м (рис. 8). Согласно нашим представлениям, ОГ4 соответствует похолоданию морской изотопной стадии (МИС) 12 (рис. 4). В это время море отступило примерно на отметку 100 м [46; 52], т. е. расхождение в глубинах составляет порядка 60 м.

Глубинное положение врезов на ОГ3 примерно соответствует палеоуровню моря на стадии МИС 6, т. е. в течение среднего звена неоплейстоцена земная поверхность в районе прохождения сейсмического профиля 21Q01L08 в Анадырском заливе опустилась примерно на 60 м. Можно подсчитать и скорость опускания земной коры в этом месте:  $60 \text{ м} / 300 \text{ тыс. лет} = 2 \text{ см в тыс. лет}$ . Эти величины не универсальны для всего изучаемого района, т. к. он характеризуется блоковым строением [16], но позволяет судить о динамике процесса.

По данным интерпретации результатов сейсмического профилирования составлена палеогеографическая схема, отражающая регрессивный этап среднего неоплейстоцена (рис. 9). Возможное положение водотоков на этой схеме показано с учетом расположения эрозионных врезов, прослеживаемых в разрезе толщи ССТ 2.

ССТ G, перекрывающая ССТ 3 в пределах Анадырского залива, судя по внутренней хаотичной структуре акустического изображения, грядовому строению и пространственному распределению, отнесена к ледниковым отложениям. В рельефе морского дна выделяются краевые ледниковые комплексы у внешнего окончания впадин зал. Лаврентия, бух. Провидения и в Мечигменском заливе при-

мерно до современных изобат — 10–50 м (рис. 9). В Беринговом проливе ССТ 3 часто выклиниваются, и тогда отложения ССТ G залегают на более древних образованиях, но иногда они перекрывают осадки подтолки ССТ 2а, накопление которых, предположительно, происходило на начальной стадии позднего неоплейстоцена (МИС 5).

Отложения ССТ G вскрыты колонкой 21БЕР-20, отобранной в устье зал. Святого Лаврентия (рис. 10). Поверхностный слой осадков мощностью до 0,09 м представлен продуктами перемыва нижележащих отложений и сложен галечно-гравийно-песчаным миктитом с валунами (размером 10–11 см) и обломками раковин. Ниже по колонке до глубины 2,9 м отложения представлены серыми тугопластичными глинами и алевроглинами. В нижней части интервала отмечается невыдержанная полосчатость. Вероятно, эти осадки накапливались в условиях приледникового бассейна. В забое колонки (интервал 291–297 см) вскрыта, собственно, морена, сложенная очень плотными плохо сортированными «сухими» осадками (миктиты) серого цвета. Содержание грубообломочной фракции в них достигает 43 %. Обломки плохо окатаны.

Расхождения в оценке возраста морен на шельфе Берингова моря возникли с самого начала их выявления. В публикации [9] предполагается, что ледниковые формы, установленные в северной части зал. Креста, относятся к конечно-моренным образованиям горно-долинного ванкаремского оледенения, т. е. последнего значимого оледенения на Чукотке, описанного в работе [18]. В то же время большинство авторов полагает, что последнее верхне-

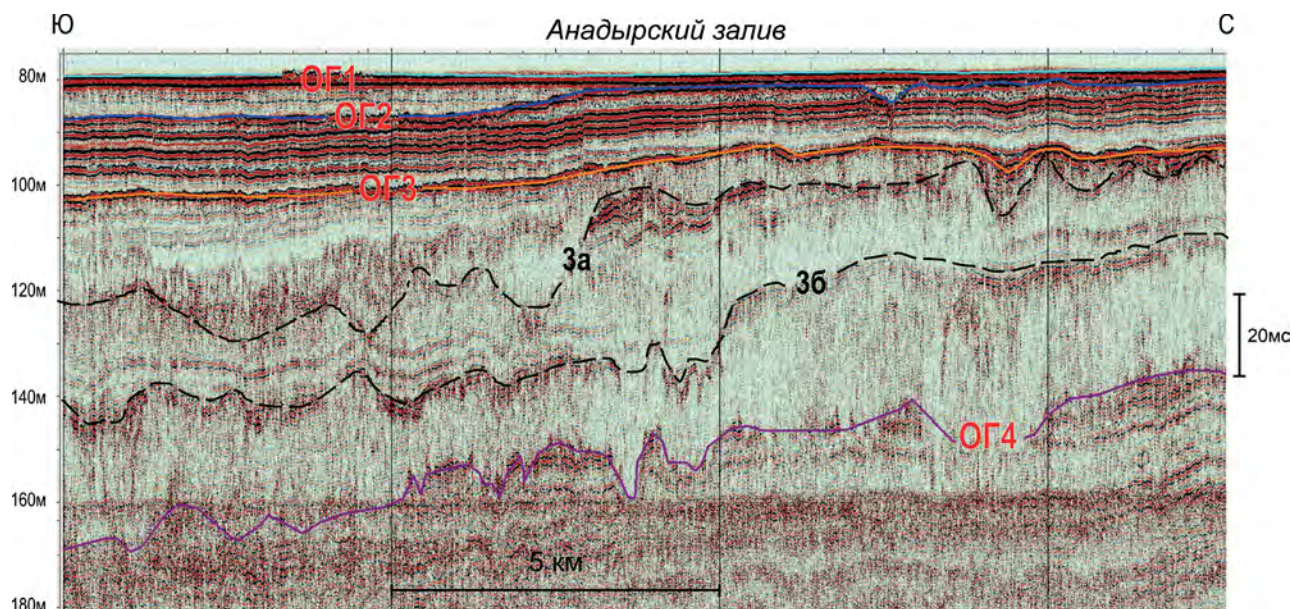


Рис. 8. Фрагмент сейсмического профиля 21Q01L08 в Анадырском заливе (по данным пневмопушки). Наряду с местными отражающими горизонтами (ОГ) черной пунктирной линией показаны отражающие границы 3а и 3б внутри сейсмтолщи ССТ 3, соответствующие эрозионным поверхностям

Fig. 8. Fragment of seismic profile 21Q01L08 in the Gulf of Anadyr (by the air gun). Along with regional reflecting horizons (OG), the black dashed line indicates reflecting boundaries 3a and 3b within CCT 3, corresponding to erosion surfaces

неоплейстоценовое оледенение на Чукотке ограничивалось горными долинами и, соответственно, не выходило на шельф Берингова моря [5]. Ряд исследователей предполагает неоднократные оледенения, достигавшие площади современной акватории. Так, по мнению Ш. Ш. Гасанова [7], во второй половине раннего плейстоцена (средний неоплейстоцен по современной стратиграфической шкале) в максимальную фазу развития долинные ледники в прибрежных низменностях сливались в мощные покровы аляскинского типа, а край ледника выдвигался далеко на восток по дну современного Анадырского залива. Во время максимума позднеплейстоценового (поздненеоплейстоценового по современной шкале) оледенения в условиях тектонического опускания, которое компенсировалось эвстатическим понижением уровня моря, ледниковые языки, не всплывая, могли выдвигаться далеко в море в депрессиях Мечигменского залива и зал. Креста [7]. Согласно [1], подобное могло происходить только в среднеоплейстоценовое время, а в эпоху первого позднеоплейстоценового похолодания ледники занимали только север зал. Креста, бух. Провидения и ряд соседних фьордов, опускаясь не более, чем до 10–30 м современных глубин моря.

В настоящее время в пределах зал. Креста ледниковые образования чаще всего перекрыты более поздними отложениями преимущественно морского генезиса и лишь локально выходят на поверхность морского дна. На прибрежном шельфе Берингова пролива конечно-моренные гряды, хотя и с эродированными вершинами, и пространственно приуроченные к ним флювиогляциальные и лимногляциальные образования практически обнажаются на поверхности морского дна (рис. 11), перекрываясь лишь относительно маломощным слоем перлювия, т. е. продуктами их перемыва — валунниками, валунными галечниками и миктитами. Мощность ледниковых отложений конечно-моренных образований на шельфе составляет в среднем 10 м, но может достигать 45 м.

По результатам корреляции возраста ледниковых образований на суше (по данным геологического картирования) и анализа положения ССТ G в разрезах можно предположить, что в Анадырском заливе отложения этой сейсмолиты формировались в конце среднего неоплейстоцена (gII<sub>2</sub>). В Беринговом проливе сейсмолиты ССТ G' скорее можно отнести ко второй ступени позднего неоплейстоцена (gIII<sub>2</sub>). В то же время нельзя исключать, что в Беринговом

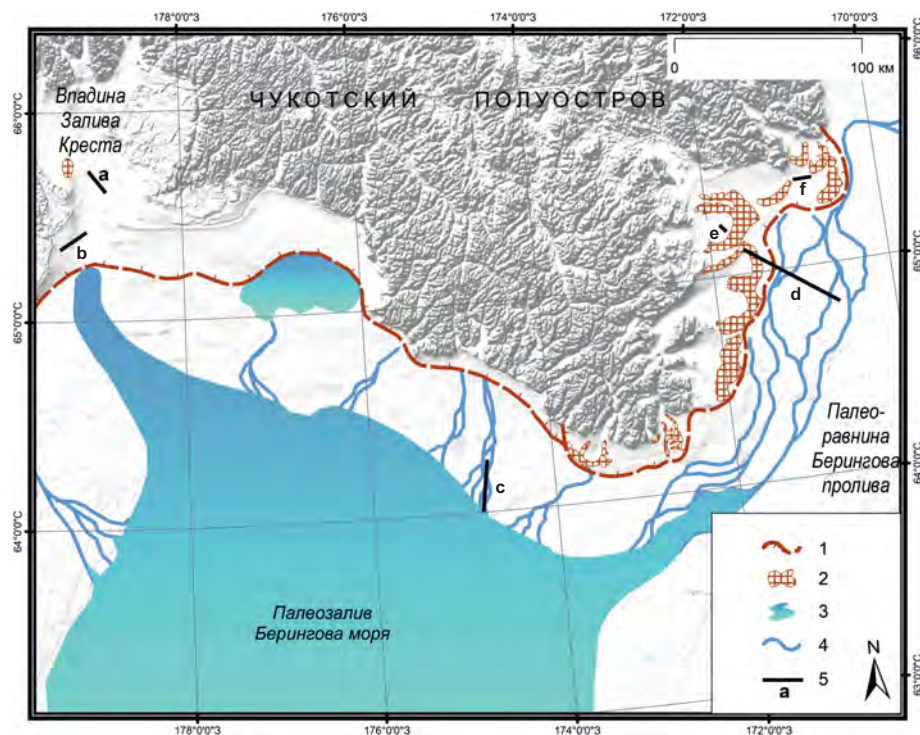


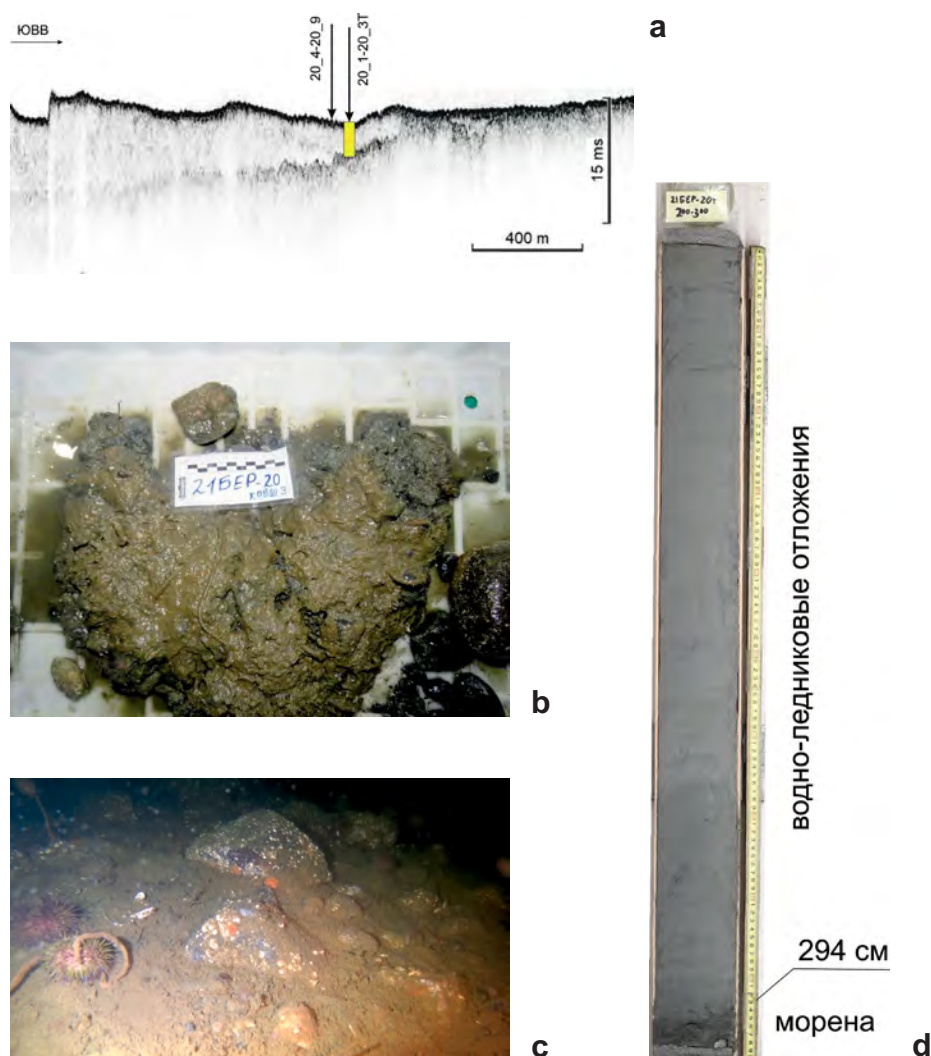
Рис. 9. Палеогеографическая схема

1 — граница распространения неоплейстоценовых ледниковых образований на шельфе; 2 — выходы на поверхность дна моренных отложений, формирующих холмисто-грядовый рельеф; 3 — границы палеозалива Берингова моря в конце среднего неоплейстоцена (по данным интерпретации сейсмических профилей); 4 — возможное положение водотоков с учетом данных сейсмического профилирования; 5 — фрагменты сейсмических профилей, показанных на рисунках: а — рис. 5, b — рис. 7, c — рис. 8, d — рис. 3, e — рис. 6, f — рис. 6

Fig. 9. Palaeogeographic scheme

1 — boundary of Neopleistocene glacial formations on the shelf; 2 — outcrops of moraine deposits forming a hilly-ridge relief on the seafloor; 3 — boundaries of the paleo bay of the Bering Sea at the end of the Middle Neopleistocene (after the seismic data interpretation); 4 — possible location of watercourses based on seismic profiling data; 5 — fragments of seismic profiles shown in the figures: a — Fig. 5, b — Fig. 7, c — Fig. 8, d — Fig. 3, e — Fig. 6, f — Fig. 6





**Рис. 10. Станция донного опробования 21BER-20 в устье зал. Святого Лаврентия, Чукотка**

*a* — положение станции на сейсмическом профиле (профилограф), *b* — фотография пробы поверхностных осадков, *c* — подводная фотография морского дна в месте отбора пробы, *d* — фотография нижней части грунтовой колонки (200–300 см), отобранной в точке 21BER-20

**Fig. 10. Sediment sampling station 21BER-20 in the mouth of the Saint Lawrence Bay, Chukotka**

*a* — station location on the seismic profile (high-frequency profiler), *b* — photograph of a surface sediment sample, *c* — underwater photograph of the seabed on the sampling site, *d* — photograph of the lower part of the sediment core (200–300 cm) collected on site 21BER-20

проливе могут существовать обе разновозрастные морены, но акустические характеристики отложений, формирующих морены, не позволяют дифференцировать их в разрезе.

Судя по положению в разрезе, ССТ 2 сопоставляется с морскими отложениями верхнего неоплейстоцена ( $mIII_{1-3}$ ), которые имеют преимущественно глинистый состав и заполняют локальные понижения в кровле нижележащих толщ, нивелируя их. Подошва ССТ 2 соответствует эрозионному горизонту ОГЗ, отвечающему эпохе похолодания и регрессии моря во время МИС 5. В случае повышенных мощностей верхнелепестовых отложений, достигающих 40 м и более, отложения ССТ 2 разделяются на две подтолщи, отложения которых накапливались в периоды потепления климата во время первой части —  $mIII_1$  (МИС 5) и третьей части позднего неоплейстоцена —  $mIII_3$  (МИС 3).

Отложения ССТ 26 ( $mIII_1$ ) на поверхность современного дна выходят редко. Вскрыты они в Беринговом проливе на глубине моря 47 м под слоем 5 см перлювия (гравийно-песчано-алевритовый миктит) грунтовой колонкой 21BER-31, в которой они представлены темно-серыми с зеленоватым оттенком плотными алевроглинами с примесью гравийно-галечного материала. Среднее содержание пелитовых

частиц составляет 56 %, алевритовых — 39 %, песчаных — 4,8 %. Грубообломочный материал (размером до 5–6 см) встречается по разрезу постоянно, иногда концентрируясь в виде гнезд. Степень окатанности грубообломочного материала, очевидно, привнесенного в осадки в результате ледового разноса, различна. Встречаются редкие гнезда раковинного детрита. Распределение гранулометрического состава (частиц менее 1 мм) по разрезу колонки свидетельствует о слабо проявленном трансгрессивном тренде. Не противоречит этому и рассчитанная по содержанию в отложениях брома палеосоленость, которая колеблется незначительно: от 5 до 8 ‰, максимальное значение 11 ‰ отмечено на интервале 15–20 см.

По совокупности данных можно предполагать, что отложения ССТ 26, опробованные в колонке 21BER-31, накапливались в прибрежных мелководных условиях при более холодном климате, чем в настоящее время, в солонатоводных условиях, при более низком уровне моря, т. е. на начальных этапах морской трансгрессии, соответствующей стадии МИС 5. Судя по довольно мощному слою перлювия, верхняя часть разреза отложений подтолщи ССТ 26 в точке пробоботбора была существенно эродирована.



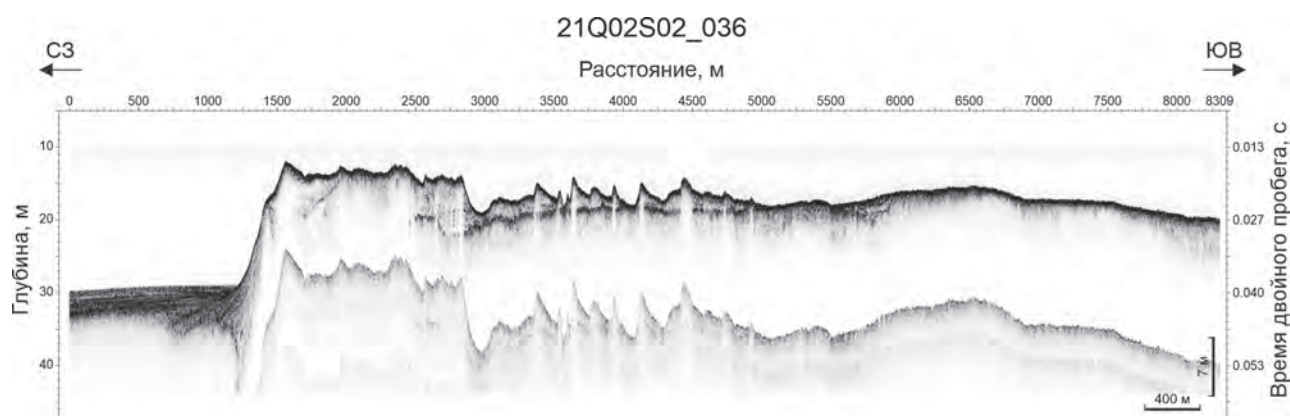


Рис. 11. Выходы моренных гряд (вторая ступень верхнего неоплейстоцена) на поверхность дна на мелководье Берингова пролива (сейсмический профиль 21Q02S02)

Fig. 11. Outcrops of moraine ridges (second stage of the Upper Neopleistocene) on the bottom surface in the shallow waters of the Bering Strait (seismic profile 21Q02S02)

Отложения сейсмоподтолщи ССТ 2а вскрыты на интервале 23–214 см грунтовой колонкой 21БЕР-30 в Беринговом проливе. В нижней части керна отложения представлены однородными песчаными алевритами, переходящими от отметки 122 см вверх по разрезу в ритмично слоистый тугопластичный песчано-алеврито-пелитовый миктит и пелитовый алеврит. Мощность ритмов невыдержана, прослои имеют линзовидный характер: мощность более глинистых — 5–6 мм, песчано-алевритовых — от 2–20 мм. Ритмичная слоистость, вероятно, обусловлена сезонной изменчивостью поступления осадочного материала. По всему разрезу, как следствие ледового разноса, встречаются редкие мелкие гальки различной степени окатанности. На отметке 122 см вверх по разрезу происходит скачкообразное увеличение содержания Fe, Zn, S, а также величины соотношения Mn/Fe, что свидетельствует о смене условий осадконакопления на относительно более восстановительные, т. е. более застойные и с большим притоком питательных веществ. Таким образом, можно предположить, что разрез грунтовой колонки 21БЕР-30 характеризуется трансгрессивным трендом. Предполагается, что отложения представляют собой морские отложения третьей ступени верхнего неоплейстоцена (mIII<sub>3</sub>), накапливавшиеся во время потепления климата, соответствующего стадии МИС 3.

Отложения ССТ 1 венчают разрез квартера на прибрежном шельфе, охватывая период от конца верхнего неоплейстоцена до настоящего времени, т. е. от континентальных условий во время окончания последнего ледникового периода до современных морских. Отложения ССТ 16 характеризуются хорошо проявленной слоистостью и с облекаянием залегают на нижележащей поверхности. В пределах шельфовой зоны (за исключением заливов) верхний слой этих отложений часто эродирован, что проявляется в срезании слоев, и выходах их на поверхность дна (рис. 6, профиль 21Q02L05). Отложения вскрыты грунтовой колонкой 21БЕР-15т, отобранной к востоку от Мечигменского залива

на глубине моря 36 м. К ССТ 16 предположительно, относятся отложения, опробованные в колонке ниже отметки 1,96 м, где они характеризуются высокой степенью изменчивости: от алевритовых песков на интервалах 246–248 см и 240–242 см, в которых песчаная составляющая достигает 66 и 72 % соответственно, до глинистых алевритов. Окраска осадков темно-серая с тонкими прослоями и линзочками осадков более глинистого состава серого, буровато-серого и черного цвета. Местами осадок черный за счет обогащения восстановленным дисперсным органическим веществом. Среднее содержание пелитовых частиц — 24 %, алевритовых — 55 %, песчаных — 20 %. На интервале 2,37–2,61 м осадки слоистые. Характер слоистости меняется по разрезу от неясно-горизонтальной до волнисто-слоистой (прослои глинистых алевритов 1–2 мм, песчаных алевритов — до 2 см). Очевидно, отложения толщи ССТ 16 накапливались в пресноводных условиях в конце неоплейстоцена — начале голоцена (III<sub>4</sub>–H<sup>1</sup>) во время существования последнего сухопутного перешейка через Берингов пролив. От перекрывающих морских зеленовато-серых осадков они отличаются окраской, слоистой текстурой, а также более грубым и неоднородным гранулометрическим составом.

Отложения сейсмоподтолщи ССТ 1а накапливаются преимущественно в относительно гидродинамически спокойных условиях переуглубленных депрессий побережья Берингова моря (бух. Провидения, зал. Лаврентия, зал. Креста и некоторые другие), часть из которых может быть отнесена к фьордам. Отложения ССТ 1а отобраны на станции 21БЕР-14 в Мечигменском заливе, где они на интервале 17–292 см представлены серо-зелеными текучепластичными алевропелитами, однородными по разрезу как по гранулометрическому составу, так и по содержанию химических элементов. Расчетная по бром-палеосоленость по разрезу колонки варьирует в интервале 27–37 ‰, что соответствует нормальной морской солености. Эти данные подтверждаются диатомовым анализом

(определение М. А. Мустафина) с постепенным увеличением вверх пор разрезу доли морских видов диатомей. Осадки, вскрытые грунтовой колонкой 21БЕР-14, могут быть отнесены к голоценовым морским нефелоидным отложениям. По всему разрезу встречаются мелкие створки раковин и их обломки. Существенное изменение вещественного состава наблюдается только на отметке 17 см, выше которой осадки представлены темно-серым до черного миктитом песчано-глинисто-алевритового состава. В принципе зоны алевропелитовой нефелоидной аккумуляции могут рассматриваться как природные седиментационные мегалушки.

Наряду с этим специфической чертой современного седиментогенеза в Беринговом проливе и Анадырском заливе является широкое распространение в основном на глубинах моря до –40 м совершенно несортированных поверхностных осадков, а именно миктитов песчано-гравийно-галечных (щебнистых), миктитов алевроглинистых с гравием и щебнем, валунно-галечных отложений и т. п. (рис. 12), которые представляют собой типичный перлювий. Помимо преобладающего терригенного материала в осадках в значимых количествах присутствует биогенный карбонат (створки и детрит раковин моллюсков).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение всего четвертичного периода в пределах прибрежного шельфа северо-западной части Берингова моря (Анадырский залив, Берингов пролив) на процессы осадконакопления существенным образом влияли ледниковые циклы, сопровождаемые эвстатическими колебаниями уровня моря, достаточно уверенно определенные, по крайней мере, для среднего–позднего неоплейстоцена и голоцена [46; 52]. В частности, прослеженный на сейсмических разрезах эрозионный горизонт

ОГ4 соответствует периоду похолодания климата 474–427 тыс. лет назад (МИС 12), когда глобальный уровень моря опустился более чем на 100 м ниже современного (рис. 4). В это время на значительной части площади современного Берингова пролива и Анадырского залива Берингова моря существовали континентальные условия. Здесь преобладали эрозионно-денудационные процессы, что подтверждено установленным в разрезах отложений по сейсмическим данным перерывом в осадконакоплении примерно на границе нижнего и среднего неоплейстоцена. Активно развивалась и речная сеть, о чем свидетельствуют отдельные врезы, вероятно, заполненные аллювием.

В среднем неоплейстоцене происходили три значительные регрессии, связанные с похолоданием климата и развитием ледников, и прерывавшие морское осадконакопление [46; 52]. Следы этих регрессий хорошо фиксируются на сейсмоакустических профилях внутри толщи ССТ 3 как выявленные эрозионные горизонты 3б (МИС 10) и 3а (МИС 8), хотя они не настолько выдержаны на площади, как горизонты ОГ3 и ОГ4, ограничивающие отложения среднего неоплейстоцена. Обращает на себя внимание, что все горизонты, прослеживаемые в ССТ 3, характеризуются наличием небольших речных палеоврезов, свидетельствующих о континентальных условиях. Высотные отметки тальвегов этих палеоврезов позволяют предположить, что во время этих регрессий существовал Берингийский перешеек, соединявший континенты и прерывавший связь между Северным Ледовитым и Тихим океанами. Сопоставление высотных отметок эрозионных горизонтов ОГ3 и ОГ4 с глобальной кривой изменения уровня моря позволило рассчитать, что опускание земной поверхности в западной части Анадырского залива в среднем неоплейстоцене составило 60 м. В конце среднего неоплейстоцена во время похолодания, соответствующего по времени МИС 6, ледники спускались по горным долинам



**a**



**b**

Рис. 12. Пример перлювиальных отложений (станция 21БЕР-3; глубина моря — 39 м)

*a* — проба на борту судна, *b* — подводная фотография

Fig. 12. Example of perluvial sediments (station 21BER-3; sea depth — 39 m)

*a* — sample onboard the vessel, *b* — underwater photograph

в пределы современной акватории Берингова моря, о чем свидетельствуют погребенные морены, идентифицируемые на сейсмических разрезах, пройденных в зал. Креста и в Анадырском. В начале позднего неоплейстоцена (подстадия МИС 5е) мощная трансгрессия в результате глобального потепления климата достигла уровня моря, вероятно, превышающего современный [49]. На шельфе происходило осадконакопление, которое могло прерываться во время похолодания 71–57 тыс. лет назад (МИС 4), когда уровень моря опускался ниже отметки –50 м [46; 52]. Обширные пространства прибрежного шельфа Берингии в это время представляли собой низменную сушу, дренированную речными системами [4]. Одновременно, согласно сейсмическим данным, позволившим выявить и оконтурить системы конечноморенных гряд в современной прибрежной зоне западного побережья Берингова пролива, с гор спустились ледники. В это время также существовал «сухопутный мост» между Азией и Северной Америкой [6]. Отложения последующей трансгрессии, обусловленной потеплением климата 57–29 тыс. лет назад, установлены в Анадырской низменности. Во время последнего похолодания 29,0–11,7 тыс. лет назад большая часть шельфа Берингова моря (до глубин 110–130 м) опять была осушена. В это время в пределах площади современной акватории развивалась гидросеть [27], накапливались аллювиальные и озерные отложения, которые по мере трансгрессии сменялись морскими.

Подъем уровня моря во время потепления климата в голоцене происходил быстро и неравномерно. Когда уровень моря был на отметке –60 м, трансгрессия происходила с максимальной скоростью подъема 40 мм/год [46; 52]. Во время трансгрессии могли активизироваться процессы размыва морского дна и происходить образование перлювиальных отложений, развитых по разновозрастным четвертичным отложениям, выходящим на поверхность дна. В середине голоцена уровень моря достиг современного положения и, по-видимому, распределение донных отложений после этого изменялось незначительно, хотя на отдельных этапах развития территории уровень моря мог превышать современный [13; 20; 55].

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Авенариус И. Г. Изменение уровня моря в северной части Берингии в позднем плейстоцене и голоцене // Изменение уровня моря. М. : Изд-во МГУ, 1982. С. 134–145.
2. Анадырский бассейн (северо-восток Евразии, Беринговоморское побережье): геологическое строение, тектоническая эволюция и нефтегазоносность / М. П. Антипов [и др.]. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2008. 53 с.
3. Богоявленский В. И., Кишанков А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Берингово море // Бурение и нефть. 2018. № 4. С. 4–12.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Чукотская. Лист R-1, 2 — остров Врангеля. Объяс-

нительная записка / С. А. Бондаренко [и др.]. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 144 с.

5. Верховская Н. Б. Плейстоцен Чукотки. Владивосток : ДНЦ АН СССР, 1986. 116 с.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 листов Q-60,1 — Анадырь (новая серия). Объяснительная записка / Ю. А. Владимирцева [и др.]. СПб. : Изд-во СПб картофабрики ВСЕГЕИ, 2001. 218 с.
7. Гасанов Ш. Ш. Строение и история формирования мерзлых пород Восточной Чукотки. М. : Наука, 1969. 168 с.
8. Гершанович Д. Е. Мощност современных донных осадков и скорость осадкообразования в Беринговом море // Труды ВНИРО. 1965. Т. LVII. С. 261–269.
9. Голоудин Р. И. О ледниковых образованиях на шельфе северной части залива Креста (Берингово море) // Геоморфология. 1981. № 1. С. 57–59.
10. Использование брома как индикатора палеосолености донных отложений на примере Балтийского, Белого, Восточно-Сибирского и Берингова морей / А. Г. Григорьев [и др.] // Геология морей и океанов : Материалы XXV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. М. : ИО РАН, 2023. С. 39–42.
11. Новые данные по истории развития юго-восточной части Балтийского моря от позднеледниковья до современности / А. Г. Григорьев [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2009. № 40. С. 103–114.
12. Развитие природной среды южной части Чукотского моря в голоцене / Е. А. Гусев [и др.] // Океанология. 2014. Т. 54, № 4. С. 505–517. <https://doi.org/10.7868/S0030157414030010>.
13. Дегтяренко Ю. П., Пуминов А. П., Благовещенский М. Г. Береговые линии восточно-арктических морей в позднем плейстоцене и голоцене // Колебания уровня морей и океанов за 15 000 лет. М. : Наука, 1982. С. 179–185.
14. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Т. I / Под ред. А. И. Прошкина-Лавренко. Л. : Наука, 1974. 403 с.
15. Современное осадкообразование в криолитозоне северо-западной части Анадырского залива (Берингово море) / О. В. Дударев [и др.] // Тихоокеанская геология. 2001. Т. 20, № 3. С. 12–25.
16. Дунаев Н. Н. Морфоструктура Берингова пролива // Геология и геоморфология шельфов и материковых склонов. М. : Наука, 1985. С. 77–85.
17. Зыков А. А., Гусев Е. А. Погребенная палеодолиновая сеть Чукотского шельфа // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 3 (105). С. 66–76.
18. Последнее оледенение на севере Восточной Чукотки и палеоокеанография Северной Пацифики / С. А. Лаухин [и др.] // Докл. РАН. 2006. Т. 411, № 3. С. 405–409.
19. Лисицын А. П. Процессы современного осадкообразования в Беринговом море. М. : Наука, 1966. 574 с.
20. Макаров А. С., Большаков Д. Ю. Колебания уровня арктических морей России в голоцене // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. Вып. 3. М. : Географический факультет МГУ, 2011. С. 315–320.
21. Макаров А. С. Колебания уровня арктических морей в голоцене // Автореф. дисс. ... д-ра географ. наук. СПб. : ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», 2017. 309 с.
22. Позднечетвертичная палеоэкология СЗ части Северной Пацифики: микропалеонтология осадочного материала по проекту КАЛЬМАР / А. Г. Матуль [и др.] // Геология морей и океанов. Т. 1. М., 2011. С. 218.
23. Мустафин М. А., Пушина З. В., Сергеев А. Ю. Диатомовые водоросли из верхнечетвертичных донных отложений Берингова пролива // Закономерности эволюции и биостратиграфия. Материалы LXX сессии Палеонтологического общества при РАН. СПб. : Картофабрика Института Карпинского, 2024. С. 189–190.
24. Мустафин М. А., Пушина З. В., Сергеев А. Ю. Диатомовые водоросли из донных отложений Анадырского залива, Берингово море // Геология морей и океанов: Материалы



XXV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. М. : ИО РАН, 2023. С. 80–83.

25. Овсепян Е. А., Иванова Е. В., Гулев С. К. Палеоокеанологические условия в западной части Берингова моря как реакция на колебания уровня океана и удаленные климатические сигналы за последние 180 тыс. лет // Докл. РАН. 2016. Т. 468, № 4. С. 437–440. <https://doi.org/10.7868/S0869565216160192>.

26. Палеоокеанологические условия в западной части Берингова моря в позднечетвертичное время / Е. А. Овсепян [и др.] // Океанология. 2013. Т. 53, № 2. С. 237–248. <https://doi.org/10.7868/S0030157413020159>.

27. Павлидис Ю. А., Ионин А. С., Медведев В. С. Палеогеография позднего вюрма шельфа Берингии // Геология и геоморфология шельфов и материковых склонов. М. : Наука, 1985. С. 65–76.

28. Петров О. М. Геологическая история Берингова пролива в позднем кайнозое // Берингия в кайнозое. Материалы Всесоюзного симпозиума «Берингийская суша и ее значение для развития голарктических флор и фаун в кайнозое». Хабаровск, 10–15 мая, 1973 г. Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 28–32.

29. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Курильская. Лист Р-59 — Пахачи. Объяснительная записка / А. В. Разумный [и др.]. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. 323 с.

30. Свиточ А. А. Корреляция событий позднего плейстоцена и голоцена Чукотки, Аляски и севера Западной Сибири (по материалам радиоуглеродного датирования) // Докл. АН СССР, 1977. Т. 232, № 5. С. 1161–1164.

31. Свиточ А. А., Талденкова Е. Е. К вопросу о холодных трансгрессиях Берингова моря // Океанология. 2002. Т. 42, № 1. С. 143–151.

32. Слободин С. Б. К вопросу о топониме «Берингия» и роли Петра Петровича Сушкина в распространении этого термина // Вестник ДВО РАН. 2016. Т. 185, № 1. С. 90–98.

33. Степанова Г. В., Пушина З. В., Дундо О. П. Условия осадконакопления в голоцене Берингова моря: (по результатам диатомового анализа) // Труды НИИГА-ВНИИОкеанологии. 2013. Т. 226. С. 192–200.

34. Стратиграфический кодекс России. Издание третье, исправленное и дополненное. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. 96 с.

35. Хопкинс Д. М. История уровня моря в Берингии за последние 250 000 лет // Берингия в кайнозое : Материалы Всесоюзного симпозиума «Берингийская суша и ее значение для развития голарктических флор и фаун в кайнозое», Хабаровск, 10–15 мая 1973 г. Владивосток, 1976. С. 9–27.

36. Фораминиферы и диатомеи в верхнелейстоценовых и голоценовых осадках Берингова моря (хребет Шишов) / Т. А. Хусид [и др.] // Геология морей и океанов. Т. 1. М. : ГЕОС, 2011. С. 284–287.

37. Life and times of the Bering Land Bridge / S. A. Elias [et al.] // Nature. 1996. Vol. 382. P. 60–63. <https://doi.org/10.1038/382060a0>.

38. Elias S. A., Short S. K., Phillips R. L. Paleoecology of Late-Glacial Peats from the Bering Land Bridge, Chukchi Sea Shelf Region, Northwestern Alaska // Quaternary Research. 1992. Vol. 38. P. 371–378. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(92\)90045-K](https://doi.org/10.1016/0033-5894(92)90045-K).

39. England J., Furze M. New evidence from the western Canadian Arctic Archipelago for the resubmergence of Bering Strait // Quaternary Research. 2008. Vol. 70. P. 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.03.001>.

40. New evidence for high discharge to the Chukchi shelf since the Last Glacial Maximum / J. C. Hill [et al.] // Quaternary Research. 2007. Vol. 68, iss. 2. P. 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2007.04.004>.

41. Hoffecker J. F., Pitulko V. V., Pavlova E. Y. Beringia and the Settlement of the Western Hemisphere // Вестник Санкт-Петербургского университета. История. 2022. Т. 67, вып. 3. С. 882–909. <https://doi.org/10.21638/spbu02.2022.313>.

42. Quaternary correlations across Bering Strait / D. M. Hopkins [et al.] // Science. 1965. Vol. 147, no. 3662. P. 1107–1114.

43. Hopkins D. M. The Cenozoic history of Beringia — A synthesis. The Bering Land Bridge // Stanford Univ. Press, Calif., 1967. P. 451–484.

44. Post-glacial flooding of the Bering Land Bridge dated to 11 cal kaBP based on new geophysical and sediment records / M. Jakobsson [et al.] // Climate of the Past. 2017. Vol. 13. P. 991–1005. <https://doi.org/10.5194/cp-13-991-2017>.

45. Rapid sea-level rise and Holocene climate in the Chukchi Sea / L. D. Keigwin [et al.] // Geology. 2006. Vol. 34. P. 861–864. <https://doi.org/10.1130/G22712.1>.

46. Closure of the Bering Strait caused Mid-Pleistocene Transition cooling / S. Kender [et al.] // Nature Communications. 2018. Vol. 9, no. 5386. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07828-0>.

47. The Holocene transgression on the Arctic flank of Beringia: Chukchi valley to Chukchi estuary to Chukchi Sea / D. A. McManus [et al.], [Eds.] P. M. Masters, N. C. Flemming // Quaternary Coastlines and Marine Archaeology. London, Pergamon, 1983. P. 365–388.

48. McManus D. A., Creager J. S. Sea-level data for parts of the Bering–Chukchi shelves of Beringia from 19,000 to 10,000 <sup>14</sup>C yr B.P. // Quaternary Research. 1984. Vol. 21, iss. 3. P. 317–325. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(84\)90071-1](https://doi.org/10.1016/0033-5894(84)90071-1).

49. Muhs D. R. MIS 5e sea-level history along the Pacific coast of North America // Earth System Science Data. 2022. Vol. 14. P. 1271–1330. <https://doi.org/10.5194/essd-14-1271-2022>.

50. Oceanographic and climatic change in the Bering Sea, Last Glacial Maximum to Holocene / B. M. Peltó [et al.] // Paleoceanography and Paleoclimatology. 2018. Vol. 33. P. 2215–2236. <https://doi.org/10.1002/2017PA003265>.

51. Pico T., Mitrovica J. X., Mix A. C. Sea level fingerprinting of the Bering Strait flooding history detects the source of the Younger Dryas climate event // Science Advances. 2020. Vol. 6, no. 9. eaay2935. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay2935>.

52. Ribó M., Goodwin I. D., O'Brien P., Mortlock T. Shelf sand supply determined by glacial-age sea-level modes, submerged coastlines and wave climate // Scientific Reports. 2020. Vol. 10, no. 462. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57049-8>.

53. Sancetta C., Robinson S. W. Diatom evidence on Wisconsin and Holocene events in the Bering Sea // Quaternary Research. 1983. Vol. 20, iss. 2. P. 232–245. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(83\)90079-0](https://doi.org/10.1016/0033-5894(83)90079-0).

54. Tanaka S., Takahashi K. Late Quaternary paleoceanographic changes in the Bering Sea and the western subarctic Pacific based on radiolarian assemblages // Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography. 2005. Vol. 52, no. 16–18. P. 2131–2149. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2005.07.002>.

55. Woodroffe S. A., Horton B. P. Holocene sea-level changes in the Indo-Pacific // Journal of Asian Earth Sciences. 2005. Vol. 25, no. 1. P. 29–43. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2004.01.009>.

56. A new terrestrial palaeoenvironmental record from the Bering Land Bridge and context for human dispersal / M. J. Wooller [et al.] // Royal Society open science. 2018. Vol. 5. P. 180145. <https://doi.org/10.1098/rsos.180145>.

## REFERENCES

1. Avenarius I. G. Sea level change in the northern part of Beringia in the Late Pleistocene and Holocene. *Sea level change*. Moscow: Publishing House of Moscow State University; 1982. P. 134–145. (In Russ.).

2. Anadyr basin (north-east of Eurasia, Bering Sea coast) geological structure, tectonic evolution and oil and gas potential / M. P. Antipov [et al.]. Apatity: KNC RAS; 2008. 53 p. (In Russ.).

3. Bogoyavlensky V. I., Kishankov A. V. Dangerous gas-saturated objects in the waters of the World Ocean: the Bering Sea. *Drilling and Oil*. 2018; (4): 4–12. (In Russ.).

4. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). The Chukchi series. Sheet R-1, 2 — Wrangel Island. An explanatory note / S. A. Bondarenko [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory; 2014. 144 p. (In Russ.).
5. Verkhovskaya N. B. Pleistocene of Chukotka. Vladivostok: Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences; 1986. 116 p. (In Russ.).
6. State geological map of the Russian Federation scale 1 : 1,000,000 sheets Q-60,1 — Anadyr (new series). An explanatory note / Yu. A. Vladimirtseva [et al.]. St. Petersburg: Publishing house of VSEGEI Cartographic Factory; 2001. 218 p. (In Russ.).
7. Hasanov Sh. Sh. The structure and history of the formation of frozen rocks of Eastern Chukotka. Moscow: Nauka; 1969. 168 p. (In Russ.).
8. Gershanovich D. E. Thickness of modern bottom sediments and the rate of sedimentation in the Bering Sea. *Proc. VNIRO*. 1965; (LVII): 261–269. (In Russ.).
9. Goloudin R. I. On glacial formations on the shelf of the northern part of Kresta Bay (Bering Sea). *Geomorphology*. 1981; (1): 57–58. (In Russ.).
10. Using bromine as an indicator of paleosalinity of bottom sediments on the example of the Baltic, White, East Siberian and Bering Seas / A. G. Grigoriev [et al.]. *Geology of the seas and oceans: Proceedings of the XXV International Scientific Conference (School) on Marine Geology*. Vol. IV. Moscow: IO RAS; 2023. P. 39–42. (In Russ.).
11. New data on the history of development of the south-eastern Baltic Sea from the late glacial period to the present / A. G. Grigoriev [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2009; (40): 103–114. (In Russ.).
12. Development of the natural environment of the southern part of the Chukchi Sea in the Holocene / E. A. Gusev [et al.]. *Oceanology*. 2014; 54 (4): 505–517. <https://doi.org/10.7868/S0030157414030010> (In Russ.).
13. Degtyarenko Yu. P., Puminov A. P., Blagoveshchensky M. G. Coastlines of the East Arctic seas in the Late Pleistocene and Holocene. *Fluctuations in the level of seas and oceans over 15,000 years*. Moscow: Nauka; 1982. P. 179–185. (In Russ.).
14. Diatoms of the USSR (fossil and modern). Vol. I. / [Eds.] A. I. Proshkina-Lavrenko. Leningrad: Nauka; 1974. 403 p. (In Russ.).
15. Modern sedimentation in the cryolithozone of the northwestern part of the Gulf of Anadyr (Bering Sea) / O. V. Dudarev [et al.]. *Pacific Geology*. 2001; 20 (3): 12–25. (In Russ.).
16. Dunaev N. N. Morphostructure of the Bering Strait. *Geology and geomorphology of shelves and continental slopes*. Moscow: Nauka; 1985. P. 77–85. (In Russ.).
17. Zykov A. A., Gusev E. A. Buried paleovalley network of the Chukotka shelf. *Problems of the Arctic and Antarctic*. 2015; 3 (105): 66–76. (In Russ.).
18. The last glaciation in the north of Eastern Chukotka and paleoceanography of the Northern Pacific / S. A. Laukhin [et al.]. *Doklady of the Russian Academy of Sciences*. 2006; 411 (3): 405–409. (In Russ.).
19. Lisitsyn A. P. Processes of modern sedimentation in the Bering Sea. Moscow: Nauka; 1966. 574 p. (In Russ.).
20. Makarov A. S., Bolshiyakov D. Yu. Fluctuations in the level of the Arctic seas of Russia in the Holocene. *Problems of Pleistocene paleogeography and stratigraphy*. Iss. 3. Moscow: Faculty of Geography, Moscow State University; 2011. P. 315–320. (In Russ.).
21. Makarov A. S. Arctic Sea Level Fluctuations in the Holocene. *Dissertation for the Degree of Doctor of Geographical Sciences*. St. Petersburg: Federal State Budgetary Institution "Arctic and Antarctic Research Institute"; 2017. 309 p. (In Russ.).
22. Late Quaternary paleoecology of the northwestern part of the North Pacific: micropaleontology of sedimentary material according to the SQUID project / A. G. Matul [et al.]. *Geology of the seas and oceans*. Vol. 1. Moscow; 2011. P. 218. (In Russ.).
23. Mustafin M. A., Pushina Z. V., Sergeev A. Yu. Diatoms from Upper Quaternary bottom sediments of the Bering Strait. *Patterns of evolution and biostratigraphy. Proceedings of the LXX session of the Paleontological Society of the Russian Academy of Sciences*. St. Petersburg: Kartfabrika of the Karpinsky Institute; 2024. P. 189–190. (In Russ.).
24. Mustafin M. A., Pushina Z. V., Sergeev A. Yu. Diatoms from bottom sediments of the Gulf of Anadyr, Bering Sea. *Geology of the seas and oceans: Proceedings of the XXV International Scientific Conference (School) on Marine Geology*. Vol. IV. Moscow: IO RAS; 2023. P. 80–83. (In Russ.).
25. Ovsepyan E. A., Ivanova E. V., Gulev S. K. Paleooceanological conditions in the western Bering Sea as a response to sea level fluctuations and remote climate signals over the past 180 thousand years. *Doklady of the Russian Academy of Sciences*. 2016; 468 (4): 437–440. <https://doi.org/10.7868/S0869565216160192>. (In Russ.).
26. Paleooceanological conditions in western part of the Bering Sea in the late Quaternary / E. A. Ovsepyan [et al.]. *Oceanology*. 2013; 53 (2): 237–248. <https://doi.org/10.7868/S0030157413020159> (In Russ.).
27. Pavlidis Yu. A., Ionin A. S., Medvedev V. S. Paleogeography of the Late Wurm of the Beringian Shelf. *Geology and Geomorphology of Shelves and Continental Slopes*. Moscow: Nauka; 1985. P. 65–76. (In Russ.).
28. Petrov O. M. Geological history of the Bering Strait in the late Cenozoic. *Beringia in the Cenozoic. Proceedings of the All-Union Symposium "Beringian land and its significance for the development of Holarctic floras and faunas in the Cenozoic"*, Khabarovsk, 10–15 May 1973. Vladivostok: Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences; 1976. P. 28–32. (In Russ.).
29. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Koryak-Kuril series. Sheet P-59 — Pakhachi. Explanatory note / A. V. Razumny [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory; 2017. 323 p. (In Russ.).
30. Svitoch A. A. Correlation of Late Pleistocene and Holocene Events in Chukotka, Alaska, and the North of Western Siberia (Based on Radiocarbon Dating). *Doklady of the USSR Academy of Sciences*. 1977; 232 (5): 1161–1164. (In Russ.).
31. Svitoch A. A., Taldenkova E. E. On the issue of cold transgressions of the Bering Sea. *Oceanology*. 2002; 42 (1): 143–151. (In Russ.).
32. Slobodin S. B. On the issue of the toponym "Beringia" and the role of Pyotr Petrovich Sushkin in the spread of this term. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2016; 185 (1): 90–98. (In Russ.).
33. Stepanova G. V., Pushina Z. V., Dundo O. P. Sedimentation conditions in the Holocene of the Bering Sea: (based on the results of diatom analysis). *Proceedings of NIIGA-VNIOkeangeologiya*. 2013; 226: 192–200. (In Russ.).
34. Stratigraphic Code of Russia. Third edition, revised and supplemented. St. Petersburg: VSEGEI Publishing House; 2019. 96 p. (In Russ.).
35. Hopkins D. M. Sea level history in Beringia over the past 250,000 years. *Beringia in the Cenozoic. Proceedings of the All-Union Symposium "Beringian land and its significance for the development of Holarctic floras and faunas in the Cenozoic"*, Khabarovsk, 10–15 May 1973. Vladivostok; 1976. P. 9–27. (In Russ.).
36. Foraminifera and diatoms in the Upper Pleistocene and Holocene sediments of the Bering Sea (Shirshov Ridge) / T. A. Khusid [et al.]. *Geology of the seas and oceans*. Vol. 1. Moscow: GEOS; 2011. P. 284–287. (In Russ.).
37. Life and times of the Bering land bridge / S. A. Elias [et al.]. *Nature*. 1996; 382: 60–63. <https://doi.org/10.1038/382060a0>.
38. Elias S. A., Short S. K., Phillips R. L. Paleoeecology of Late-Glacial Peats from the Bering Land Bridge, Chukchi Sea Shelf Region, Northwestern Alaska. *Quaternary Research*. 1992; 38: 371–378. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(92\)90045-K](https://doi.org/10.1016/0033-5894(92)90045-K).
39. England J., Furze M. New evidence from the western Canadian Arctic Archipelago for the resubmergence of Bering Strait. *Quaternary Research*. 2008; 70: 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.03.001>

40. Post-glacial flooding of the Bering Land Bridge dated to 11 cal kaBP based on new geophysical and sediment records / J. C. Hill [et al.]. *Climate of the Past*. 2017; 13: 991–1005. <https://doi.org/10.5194/cp-13-991-2017>.

41. New evidence for high discharge to the Chukchi shelf since the Last Glacial Maximum / J. C. Hill [et al.]. *Quaternary Research*. 2007; 68 (2): 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2007.04.004>.

42. Hoffecker J. F., Pitulko V. V., Pavlova E. Y. Beringia and the Settlement of the Western Hemisphere. *Bulletin of St. Petersburg University. History*. 2022; 67 (3): 882–909. <https://doi.org/10.21638/spbu02.2022.313>.

43. Quaternary correlations across Bering Strait / D. M. Hopkins [et al.]. *Science*. 1965; 147 (3662): 1107–1114.

44. Hopkins D. M. The Cenozoic history of Beringia — A synthesis. The Bering Land Bridge. Stanford Univ. Press, Calif.; 1967. P. 451–484.

45. Rapid sea-level rise and Holocene climate in the Chukchi Sea / L. D. Keigwin [et al.]. *Geology*. 2006; 34: 861–864. <https://doi.org/10.1130/G22712.1>

46. Closure of the Bering Strait caused Mid-Pleistocene Transition cooling / S. Kender [et al.]. *Nature Communications*. 2018; 9 (5386). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07828-0>.

47. The Holocene transgression on the Arctic flank of Beringia: Chukchi valley to Chukchi estuary to Chukchi Sea / D. A. McManus [et al.], [Eds.] P. M. Masters, N. C. Flemming. *Quaternary Coastlines and Marine Archaeology*. London, Pergamon; 1983. P. 365–388.

48. McManus D. A., Creager J. S. Sea-level data for parts of the Bering–Chukchi shelves of Beringia from 19,000 to 10,000 <sup>14</sup>C yr B.P. *Quaternary Research*. 1984; 21 (3): 317–325.

49. Muhs D. R. MIS 5e sea-level history along the Pacific coast of North America. *Earth System Science Data*. 2022; 14: 1271–1330. <https://doi.org/10.5194/essd-14-1271-2022>.

50. Oceanographic and climatic change in the Bering Sea, Last Glacial Maximum to Holocene / B. M. Peltó [et al.]. *Paleoceanography and Paleoclimatology*. 2018; 33: 2215–2236. <https://doi.org/10.1002/2017PA003265>.

51. Pico T., Mitrovica J. X., Mix A. C. Sea level fingerprinting of the Bering Strait flooding history detects the source of the Younger Dryas climate event. *Science Advances*. 2020; 6 (9): eaay2935. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay2935>.

52. Ribó M., Goodwin I. D., O'Brien P., Mortlock T. Shelf sand supply determined by glacial-age sea-level modes, submerged coastlines and wave climate. *Scientific Reports*. 2020; 10 (462). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57049-8>.

53. Sancetta C., Robinson S. W. Diatom evidence on Wisconsin and Holocene events in the Bering Sea. *Quaternary Research*. 1983; 20 (2): 232–245. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(83\)90079-0](https://doi.org/10.1016/0033-5894(83)90079-0).

54. Tanaka S., Takahashi K. Late Quaternary paleoceanographic changes in the Bering Sea and the western subarctic Pacific based on radiolarian assemblages. *Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography*. 2005; 52 (16–18): 2131–2149. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2005.07.002>.

55. Woodroffe S. A., Horton B. P. Holocene sea-level changes in the Indo-Pacific. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2005; 25 (1): 29–43. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2004.01.009>.

56. A new terrestrial palaeoenvironmental record from the Bering Land Bridge and context for human dispersal / M. J. Wooller [et al.]. *Royal Society open science*. 2018; 5: 180145. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.180145>.

## Владимир Александрович Жамойда

Кандидат геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Scopus Author ID 6602868529

ResearcherID B-5957-2016

SPIN-код РИНЦ 5437-8545

РИНЦ Author ID 155951

[vladimir\\_zhamoida@karpinskyinstitute.ru](mailto:vladimir_zhamoida@karpinskyinstitute.ru)

## Vladimir A. Zhamoida

PhD (Geology and Mineralogy),  
Leading Researcher

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

Scopus Author ID 6602868529

ResearcherID B-5957-2016

RSCI SPIN-code 5437-8545

RSCI Author ID 155951

[vladimir\\_zhamoida@karpinskyinstitute.ru](mailto:vladimir_zhamoida@karpinskyinstitute.ru)

## Александр Юрьевич Сергеев

Кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Scopus Author ID 57207727876

ResearcherID E-3962-2017

SPIN-код РИНЦ 3522-5253

РИНЦ Author ID 881607

[Alexander\\_Sergeev@karpinskyinstitute.ru](mailto:Alexander_Sergeev@karpinskyinstitute.ru)

## Aleksandr Yu. Sergeev

PhD (Geology and Mineralogy),  
Senior Researcher

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

Scopus Author ID 57207727876

ResearcherID E-3962-2017

RSCI SPIN-code 3522-5253

RSCI Author ID 881607

[Alexander\\_Sergeev@karpinskyinstitute.ru](mailto:Alexander_Sergeev@karpinskyinstitute.ru)



## Леонид Михайлович Буданов

Кандидат географических наук,  
научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Scopus Author ID 57195337053  
ResearcherID E-3946-2017  
SPIN-код РИНЦ 1026-3007  
РИНЦ Author ID 918305  
Leonid\_Budanov@karpinskyinstitute.ru

## Дарья Владимировна Рябчук

Кандидат геолого-минералогических наук,  
начальник отдела

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Scopus Author ID 23478132400  
ResearcherID K-7372-2012  
SPIN-код РИНЦ 6655-6905  
РИНЦ Author ID 155952  
Daria\_Ryabchuk@mail.ru

## Андрей Глебович Григорьев

Кандидат геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код РИНЦ 1378-4322  
РИНЦ Author ID 303381  
Andrey\_Grigiryev@karpinskyinstitute.ru

## Игорь Александрович Неевин

И. о. руководителя Центра морской геологии,  
литогеодинимики и минерагении осадочных бассейнов

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Scopus Author ID 57194335576  
ResearcherID E-4899-2017  
SPIN-код РИНЦ 9345-5593  
РИНЦ Author ID 1068477  
igor\_neevin@karpinskyinstitute.ru

## Марк Артурович Мустафин

Геолог 2 категории

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код РИНЦ 2240-1395  
РИНЦ Author ID 1212640  
mark\_mustafin@karpinskyinstitute.ru

## Leonid M. Budanov

PhD (Geography)  
Researcher

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

Scopus Author ID 57195337053  
ResearcherID E-3946-2017  
RSCI SPIN-code 1026-3007  
RSCI Author ID 918305  
Leonid\_Budanov@karpinskyinstitute.ru

## Darya V. Ryabchuk

PhD (Geology and Mineralogy),  
Head of Department

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

Scopus Author ID 23478132400  
ResearcherID K-7372-2012  
RSCI SPIN-code 6655-6905  
RSCI Author ID 155952  
Daria\_Ryabchuk@mail.ru

## Andrey G. Grigoriev

PhD (Geology and Mineralogy),  
Leading Researcher

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

RSCI SPIN-code 1378-4322  
RSCI Author ID 303381  
Andrey\_Grigiryev@karpinskyinstitute.ru

## Igor A. Neevin

Acting Head, Center for Marine Geology,  
Lithogeodynamics and Mineralogy of Sedimentary Basins

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

Scopus Author ID 57194335576  
ResearcherID E-4899-2017  
RSCI SPIN-code 9345-5593  
RSCI Author ID 1068477  
igor\_neevin@karpinskyinstitute.ru

## Mark A. Mustafin

Second Category Geologist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

RSCI SPIN-code 2240-1395  
RSCI Author ID 1212640  
mark\_mustafin@karpinskyinstitute.ru

**Вклад авторов:** Жамойда В. А. — концепция исследования, написание исходного текста.  
Сергеев А. Ю. — концепция исследования, интерпретация сейсмических данных, подготовка иллюстраций.  
Буданов Л. М. — написание текста, интерпретация сейсмических данных, подготовка иллюстраций.  
Рябчук Д. В. — обработка и интерпретация результатов литологического изучения кернов, редакция текста.  
Григорьев А. Г. — геохимические исследования кернов. Неевин И. А. — организация полевых исследований.  
Мустафин М. А. — диатомовый анализ.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** Zhamoida V. A. — research concept, writing the draft.  
Sergeev A. Yu. — research concept, seismic data interpretation, illustration preparation.  
Budanov L. M. — writing the draft, seismic data interpretation, illustration preparation.  
Ryabchuk D. V. — processing and interpretation of sediment core lithological study results, text editing.  
Grigoriev A. G. — sediment core geochemical studies. Neevin I. A. — field research organization.  
Mustafin M. A. — diatom analysis.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 28.10.2024  
Одобрена после рецензирования 15.11.2024  
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 28.10.2024  
Approved after reviewing 15.11.2024  
Accepted for publication 28.12.2024

Научная статья

УДК 550.83:550.814:528

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_115-125

**Ключевые слова:** *аэрогеофизическая съемка, геофизическая основа, геологическое картирование*

**Для цитирования:** Современная аэрогеофизическая основа — залог успешного изучения недр при геологическом картировании и поисках полезных ископаемых / Ф. Д. Лазарев [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 115–125. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_115-125](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_115-125)

Original article

UDC 550.83:550.814:528

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_115-125

**Keywords:** *airborne geophysical survey, geophysical basement, geological mapping*

**For citation:** Modern airborne geophysical basement is the key to successful exploration for geological mapping and mineral prospecting / F. D. Lazarev [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024; 31 (4): 115–125. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_115-125](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_115-125)



© Ф. Д. Лазарев, П. В. Кирплюк,  
А. Н. Онищенко, Р. А. Леденгский,  
В. К. Старостин, 2024

## Современная аэрогеофизическая основа — залог успешного изучения недр при геологическом картировании и поисках полезных ископаемых

Ф. Д. Лазарев✉, П. В. Кирплюк, А. Н. Онищенко,  
Р. А. Леденгский, В. К. Старостин

Норильский филиал Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского, Норильск, Россия, FLazarev@karpinskyinstitute.ru✉

**Аннотация.** Представлена история Норильского филиала — структурного подразделения ФГБУ «Институт Карпинского», одной из задач которой является создание опережающей геофизической основы. Приведены примеры создания геофизической основы, включающей комплект карт геофизических полей и результатов их интерпретации, являющейся базисом геологического картирования и поисков твердых полезных ископаемых. В статье показано, что наземные геолого-геофизические работы по заверке аномалий должны являться неотъемлемой частью геологоразведочных работ при геологическом доизучении площадей в масштабе 1 : 200 000.

## Modern airborne geophysical basement is the key to successful exploration for geological mapping and mineral prospecting

F. D. Lazarev✉, P. V. Kirplyuk, A. N. Onishchenko,  
R. A. Ledengskiy, V. K. Starostin

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Norilsk Branch, Norilsk, Russia, FLazarev@karpinskyinstitute.ru✉

**Abstract.** The paper presents the history of the Norilsk Branch, a structural unit of the All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, which aims to create an advanced geophysical basement. There are examples of creating a geophysical basement, including a maps set of geophysical fields and their interpretation results, which determine geological mapping and solid mineral prospecting. The paper shows that the ground geological and geophysical work to verify anomalies should be an essential part of geological exploration involving additional site appraisal at a scale of 1 : 200,000.

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (далее — ФГБУ «Институт Карпинского») является ведущим предприятием по организации и проведению геологосъемочных и картографических работ территории Российской Федерации. В настоящее время институт ведет большой объем работ по созданию Государственной геологической карты масштаба 1 : 200 000 второго поколения (далее — ГК-200), в рамках которого выполняются тематические, геохимические, лабораторные и геофизические исследования.



Одним из структурных подразделений института является Норильский филиал, организованный на основе аэрогеофизической партии, ранее входившей в состав Центральной Арктической геолого-разведочной экспедиции. В 2002 г. экспедиция была упразднена, а аэрогеофизическая партия преобразована в Норильский филиал, который осуществляет аэро- и наземные геофизические работы. Сегодня эти работы представляют собой широкий комплекс исследований на стадиях геологической съемки, поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, включающих аэрогеофизическую и наземную съемки с заверкой выявленных аномалий, обработку материалов, их интерпретацию и рекомендации по дальнейшему направлению работ.

В течение 40 лет специалисты Норильского филиала участвовали в исследованиях более сотни объектов, расположенных на территории России в разнообразных географических и горно-геологических условиях (рис. 1).

В данной статье изложены наиболее актуальные моменты становления коллектива Норильского филиала, показана роль геофизических исследований в системе государственного геологического картирования с целью геологического доизучения площадей в масштабе 1 : 200 000 (далее — ГДП-200) и некоторые результаты успешного применения этих исследований, а также отмечены нежелательные тенденции в текущих геолого-геофизических работах.

Основной объем геофизических работ до 2016 г. выполнялся по заказам частных компаний. Так, в первом десятилетии текущего века, выполняя на Тиманском кряже субподрядные работы по заказу ПАО «ГМК «Норильский Никель», сотрудничавшего в ту пору с альянсом BHP Billiton, коллектив столкнулся с необходимостью осуществлять работу в соответствии с принятыми этой организацией требованиями производства. Учитывая опыт работы в Арктике (арх. Северная Земля), на Полярном Урале, на Таймыре и в других регионах страны, коллектив справился с задачей, удовлетворив требования по качеству съемки, в том числе по скорости полетов, по их высоте и отклонению от заданных линий маршрутов, по регистрации геомагнитных вариаций в условиях северных широт, а также по методике обработки, интерпретации и подготовке отчетных материалов в соответствии с международными стандартами.

Другим объектом, изучение которого привело к совершенствованию производственного опыта, был заказ все того же предприятия на выполнение аэромагнитной съемки Сырадасайской площади, в ее пределах расположено одноименное месторождение высокосортных углей. Работы выполнялись на самолете Ан-2 в сложных природно-климатических условиях, поскольку объект расположен далеко за Полярным кругом, в районе пос. Диксон. Вскоре с использованием положительных результатов магнитной съемки началось освоение

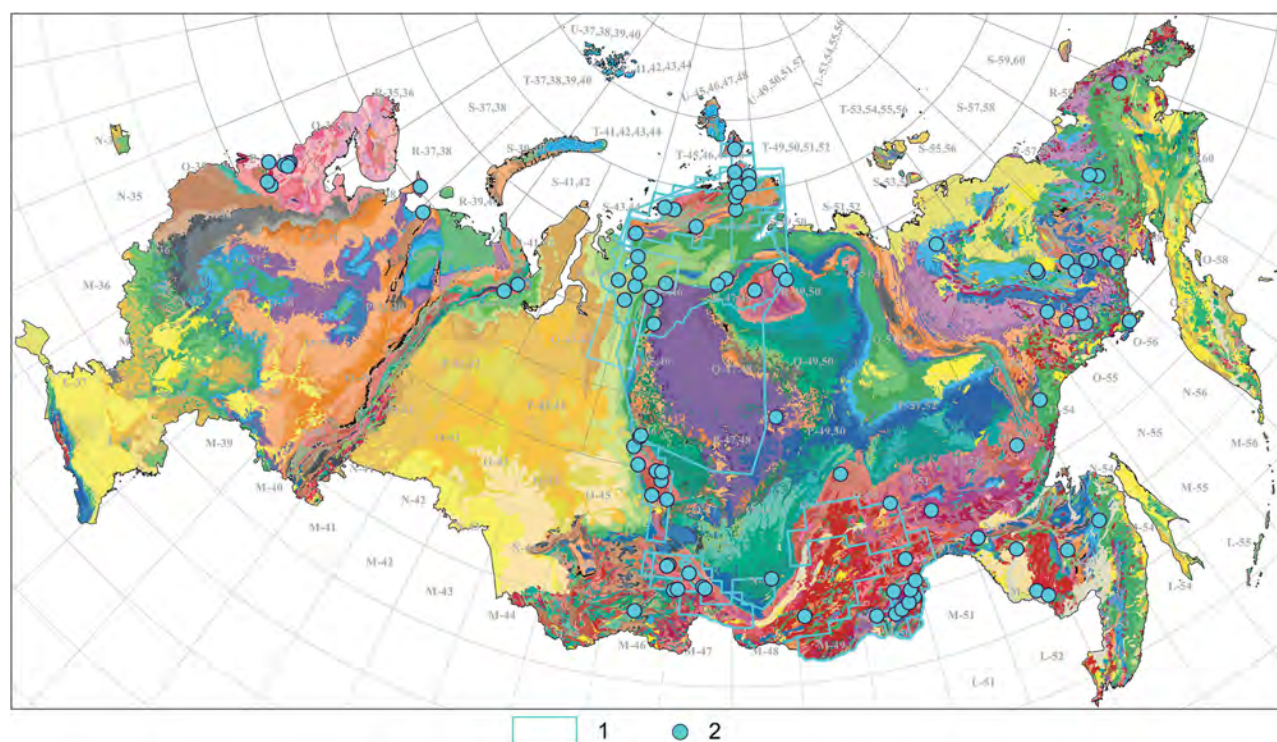


Рис. 1. Обзорная схема работ, выполненных Норильским филиалом ФГБУ «Институт Карпинского» по состоянию на 2024 г. Геофизические исследования: 1 — тематические, 2 — комплексные (аэро- и наземные)

Fig. 1. Overview diagram of work by the All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Norilsk Branch (as in 2024) Geophysical studies: 1 — specialist, 2 — complex (aero and ground)

этого месторождения. Сегодня оно находится в стадии набирающей темпы разработки, которую ведет компания «Северная звезда», дочерняя структура ПАО «ГМК «Норильский никель».

В тот же период были осуществлены крупномасштабные аэрогеофизические съемки с целью создания геофизических основ для поисков рудного золота на Енисейском кряже по договорам с ПАО «Полюс». Здесь впервые открылись возможности поискового потенциала гамма-спектрометрической съемки при решении задач выявления и локализации зон, подвергшихся метасоматическим изменениям, которые в данном районе представляли поисковый интерес. В процессе производства были определены признаки рудных объектов, выявляемые по гамма-спектрометрическим данным, и сформулированы их поисковые критерии. Было установлено, что уникальное золото-сульфидное Олимпиадинское и крупное золото-сульфидно-кварцевое Благодатное месторождения Енисейского кряжа расположены в пределах аномальных урановых зон. Это дает основание утверждать, что выделение таких аномальных зон и участков — одна из важнейших поисковых задач, которая с успехом решается с применением аэрогамма-спектрометрии. Более того, результаты наших исследований, завершенных в 2008 г., показали, что благодаря высокой чувствительности и точности аэрогеофизических съемок имеется возможность обнаружить и локализовать не только золоторудные объекты ранга рудных районов и узлов, но и рудных полей, что существенно повышает эффективность поисков золота.

Важным шагом профессионального роста стали работы в Забайкалье по договору с ООО «Востокгеология» (дочернее предприятие ПАО «ГМК «Норильский никель») в 2007–2009 гг. Тогда впервые нашему коллективу (рис. 2) пришлось осваивать проведение аэрогеофизической съемки на самолете Ан-3 комплексом методов, включающим электроразведку ЕМ-4Н. Целевым назначением работ являлось создание геофизической основы для оценки наличия перспективных объектов на цветные и благородные металлы. Работы на этом объекте велись интенсивно двумя бригадами. В процессе полевых работ оперативно велась обработка снятых материалов, строились геофизические карты полей, выделялись локальные аномалии, параметры которых оперативно передавались заказчику; тот, в свою очередь, в кратчайшие сроки осуществлял их наземную заверку геолого-геофизическими методами, вплоть до бурения. Результаты именно этих аэрогеофизических работ ускорили освоение Быстринского месторождения и строительство одноименного горно-обогатительного комбината.

Существенно новый опыт коллектив филиала приобрел при реализации аэрогеофизического проекта на Африканском континенте, исследуя горнорудный участок Китубия, находящийся в провинции Южная Кванза в Республике Ангола. Работы выполнялись совместно с ООО «Геотехнологии» с применением ими разработанного комплекса «Экватор» по договору с Горнорудным обществом «Катока». Исследования охватывали территории

как с известными кимберлитовыми трубками, так и новые площади, где трубки были неизвестны. В результате проведенных работ был выявлен ряд перспективных аномалий, имеющих магнитную и электромагнитную природу. Последующая заверка 18 аномальных объектов бурением, выделенных по картам кажущегося сопротивления во временной области, показала, что на 16 из них обнаружены кимберлитовые породы, на одном из которых они оказались алмазонасными [8].

С 2017 г., имея опыт эксплуатации аэрогеофизических комплексов на различных воздушных судах, коллектив филиала приступил к выполнению работ по Государственным заказам, первым из которых стал объект в Магаданской области на Балыгичанской площади. Там впервые была выполнена комплексная аэрогеофизическая съемка на вертолете Eurocopter AS 350 B3 с использованием аэромагнитометра GT-MAG, аэрогамма-спектрометра RS-500 и носового стингера, изготовленного из легкого авиационного композитного материала, для размещения магниточувствительного и феррозондового датчиков, радиовысотомера и навигационной антенны [6]. При проведении работ выяснилось, что их выполнение на легком вертолете в условиях высокогорного рельефа имеет целый ряд преимуществ (достоинств), выгодно отличающихся от работы на тяжелом вертолете Ми-8 и по маневренности, и по экономичности, и по энерговооруженности, а также по ряду других параметров.

Дальнейшие работы филиала по созданию опережающих основ для ГК-200 охватили районы Забайкалья, Амурской области, Якутии и Чукотки, где наращивался опыт не только аэросъемочных работ, но и новых методов интерпретации совместно с геологами Института Карпинского.

Комплекс геофизических методов для проведения аэрогеофизической съемки, которым располагает филиал сегодня, включает в себя аэромагниторазведку, аэрогамма-спектрометрию и аэроэлектроразведку. Наземные методы представлены магнитометрической, гамма-спектрометрической и различными видами электроразведочной аппаратуры. На интерпретационном этапе всегда используются материалы гравиразведочных работ.

Выбор аэрогеофизической аппаратуры для создания оптимального комплекса съемки зависит от объема наших предварительных знаний о конкретной геологической ситуации площади съемки и поставленных перед съемочными работами задач, что, в свою очередь, определяет также и оптимальную высоту полета ее носителя [3]. Так, например, включение в аэрогеофизический комплекс электроразведки автоматически повышает высоту полета до 120 м, тогда как для аэрогамма-спектрометрической съемки оптимальной является высота 70–90 м.

Таким образом, геологические работы разных стадий их производства и аэрогеофизическая съемка, сопровождающая или опережающая эти работы, как показывает практика, наиболее эффективны тогда, когда они направлены на достижение единой цели — поиск и открытие месторождений полезных ископаемых. Для эффективного целенаправленного



Рис. 2. Забайкалье, 2008 г. Газимуровский завод. Геофизики-бортовые операторы Норильского филиала: Е. А. Бомбизов, А. В. Маджара, С. Ю. Перетолчин, А. И. Гарасика, П. В. Мельников

Источник: архив Норильского филиала

Fig. 2. Transbaikalia, 2008. Gazimursky Zavod. Aero-geophysicists, Norilsk Branch: E. A. Bombizov, A. V. Madzhara, S. Yu. Peretolchin, A. I. Garasika, P. V. Melnikov

Source: Norilsk Branch's archives

проведения геологических работ необходимо наличие качественной геофизической основы, выполняющей роль базиса планирования и последующей концентрации тяжелых и дорогостоящих геологических (горных и буровых) работ на локальных участках, сокращая, а зачастую исключая их проведение на неперспективных площадях.

Современная геофизическая основа представляет собой совокупность карт геофизических полей, их целевых трансформант, петрофизических разрезов и результатов интерпретации, позволяющих определять направления дальнейших поисковых работ.

Из всех этапов создания геофизической основы *интерпретация* — наиболее важный и ответственный этап. Умение извлечь из материалов съемки максимально полезную геологическую информацию — дело профессионального мастерства, до настоящего времени граничащее с искусством. Достоверность построений при условии проведения исчерпывающего комплекса работ квалифицированными и опытными специалистами достаточно высока. Более того, объективность оценки прогнозных построений должна подкрепляться наземной заверкой выявленных аномалий, что сегодня осуществляется в очень незначительных объемах.

Процесс интерпретации, как правило, включает в себя картировочную и прогнозную составляющие. Первая преследует цель изучить геологическое строение района, выделить различающиеся по физическим свойствам структурно-вещественные комплексы, уточнить глубинное строение территории, выявить и проследить тектонические нарушения, картировать интрузивные образования, определить их геохимическую специализацию и характер

наложенных (эпигенетических) изменений. Процесс интерпретации это — анализ и синтез данных, полученных посредством геофизических полей и их трансформант.

Следует отметить, что трансформация исходного материала проводится с целью подчеркнуть интересные интерпретатора особенности поля и затушевать, сгладить сторонние эффекты. Опыт работ показывает, что из всего многообразия трансформаций практическое применение имеют: для потенциальных полей — вертикальная составляющая градиента, модуль горизонтальной составляющей градиента, модуль полного градиента для магнитного поля и поля силы тяжести; для гамма-спектрометрических полей — «индикаторные отношения» ( $\text{Th}/\text{U}$ ,  $\text{Th}/\text{K}$ ,  $\text{U}/\text{K}$ ,  $\text{U}^*/\text{K}/\text{Th}$ ) и карта радиогеохимической зональности. Важной составляющей является районирование геофизических полей, позволяющее визуализировать распределение физических свойств пород на рассматриваемой площади.

В результате проведенного таким образом анализа строится итоговая схема геологической интерпретации геофизических данных, на которой в соответствии с достигнутой в процессе анализа детальностью отражены контуры, фиксирующие положение выявленного объекта на территории съемочных работ, а также присущие ему геологические свойства, выявленные путем дешифрирования геофизических полей, их трансформант. Картировочная составляющая интерпретации аэрогеофизических материалов, выполненная по данным комплексной аэрогеофизической съемки масштаба 1 : 50 000 (далее — КАГС-50) на Попигайской площади в 2022 г., представлена на рис. 3, которая в полной мере отображает особенности ее



геологического строения, в т. ч. структурное положение, разрывную тектонику, вещественные комплексы и метасоматическую зональность.

Для изучения глубинного строения применяется объемное петрофизическое моделирование, основанное на послойном разделении гравитационного и магнитного полей на составляющие по значениям величины и направления векторов их горизонтальных градиентов. Полученный трехмерный массив данных дает представление о распределении плотностных и магнитных неоднородностей в нижнем полупространстве и позволяет провести петромагнитное моделирование по заданным направлениям. Латеральные и вертикальные вариации магнитно-плотностных свойств среды с определенной долей уверенности можно отождествлять со структурными и вещественными изменениями глубинного геологического строения, а также использовать их, применяя для прослеживания тектонических нарушений (рис. 4).

Другим наглядным примером методики интерпретации, направленной на решение задач геологического картирования, служит публикация [6], в которой изложены методические приемы решения задач для целей картирования интрузивных массивов на примере северной части Балыгычано-Сугойского прогиба. В результате уточнены контуры известных массивов, впервые выделены нескрытые гранитоидные образования, а также серии даек и малых интрузий. По результатам объемного моделирования и классификации потенциальных полей изучено глубинное строение массивов. Разделены интрузивные образования по геофизическим данным, отражающим различные петрофизические свойства пород. Массивы классифицированы по комплексам и определена их перспективность на золото-серебряное и оловянное оруденение.

На выстроенном таким образом геолого-геофизическом базисе, учитывая основные факторы прогноза, поисковую практику, региональное и локальное геологическое положение района работ, его металлогеническую специфику, а также теоретически возможные в его пределах типы рудогенеза и наличие соответствующих им рудоконтролирующих признаков, проводится анализ размещения полезных ископаемых и прогнозная интерпретация в пределах изученной территории в целом.

Большинство рудоконтролирующих факторов с разной степенью достоверности находят свое отображение в геофизических полях, где их размещение выявляется характерным набором геофизических параметров. Полученные характеристики геофизических полей достаточно надежно увязываются с распространением ведущих полезных ископаемых в ранге рудного района-узла-поля. В аномальном магнитном поле и поле силы тяжести проявлены преимущественно признаки рудоконтролирующего характера (интрузивные тела, тектонические нарушения, зоны контактово-измененных пород). Данные гамма-спектрометрии и электроразведки используются в качестве геофизических признаков рудолокализирующих факторов (гидротермально-метасоматические минерализованные зоны).

Существенную, если не сказать основную роль при интерпретации играет опыт, обретенный исследованиями рудных объектов, на примере которых отрабатывались обоснованные методы прогноза самых разнообразных типов промышленного оруденения.

Так, в предыдущие годы в процессе аэрогеофизических съемок в районах размещения известных медно-порфировых месторождений: Быстринское, Култуминское, Шахтаминское, Бугдаинское (2007, 2008 гг.), Ак-Суг (2010 г.), Песчанка (2011 г.), фактически была установлена прямая пространственная связь между развитием площадных метасоматических изменений и радиогеохимической специализацией пород, отражающейся в тонкой структуре гамма-спектрометрических полей. Эта закономерность положена в основу созданной модели радиогеохимической зональности медно-порфировых систем и доказала свою эффективность на практике [2].

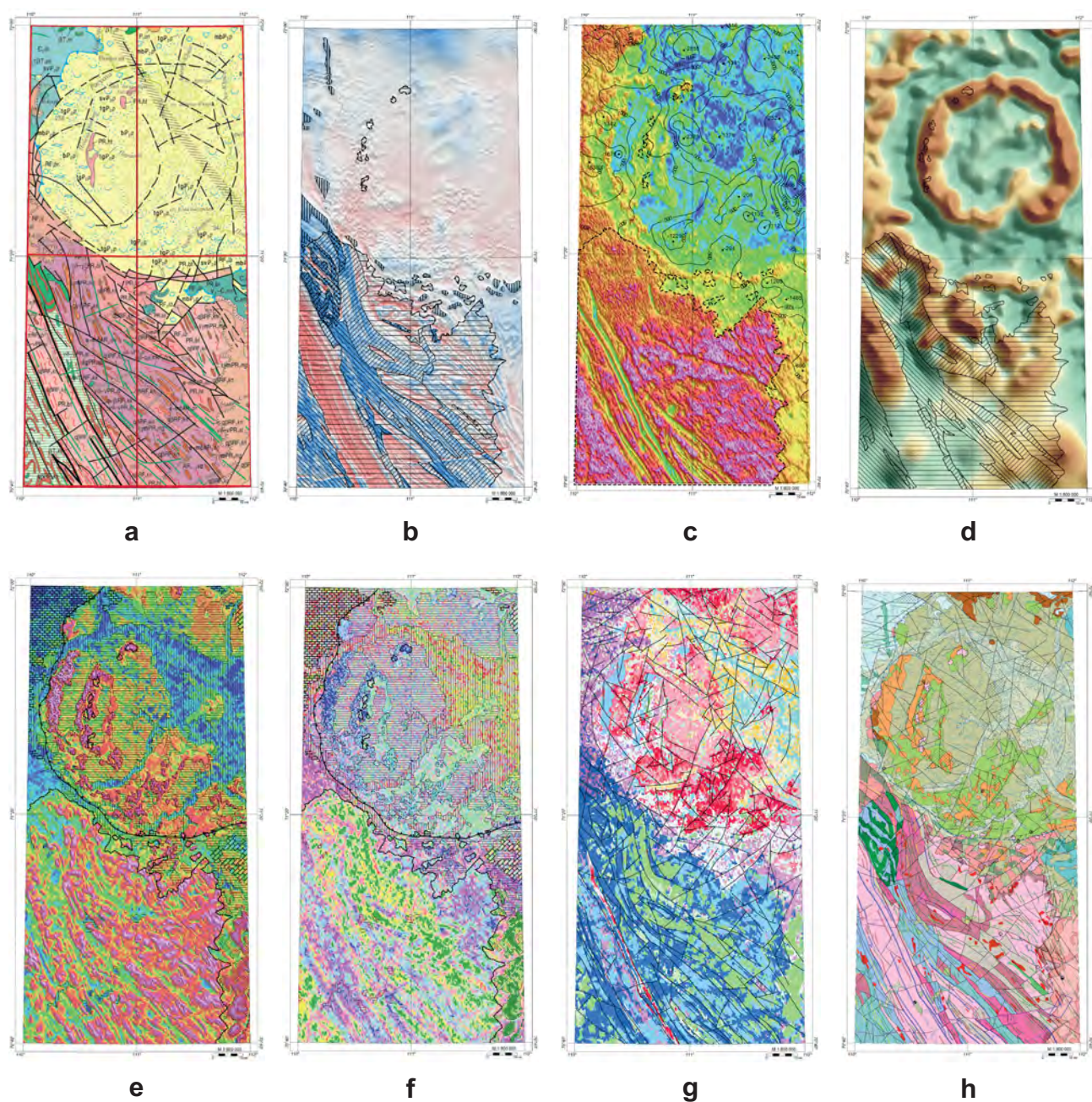
Большая библиотека наработанных эталонных геофизических моделей различных месторождений полезных ископаемых позволяет прогнозировать возможность их выявления на исследуемых площадях [4].

Прогнозирование основано на вероятностно-статистическом анализе, реализованном в алгоритме распознавания образов. В целом процедура прогнозирования требует решения ряда частных задач, основными из которых являются выбор объекта прогноза; определение элементарного участка прогнозирования; формирование исходной совокупности признаков или целевых трансформант геофизических полей; создание выборки эталонных объектов; преобразование и оценка информативности признаков; описание всей совокупности данных через информативные признаки; проверка надежности признаков; построение прогнозной схемы.

При выделении перспективных участков в качестве основного показателя используются вероятности соответствия рудным объектам, полученные при вероятностно-статистическом анализе аэрогеофизических данных в совокупности с благоприятными геологическими признаками. Пример такой прогнозной схемы, построенной по результатам интерпретации материалов съемки на Попигайской площади, представлен на рис. 5.

Схема отражает положение Попигайской астроблемы, основных дизъюнктивных дислокаций, радиогеохимическую специализацию рудолокализирующих геологических образований, перспективные участки на обнаружение различных видов полезных ископаемых.

В процессе интерпретации материалов на этом объекте, в зоне Анабарского щита по методике, созданной и опробованной при поисках алмазов в Республике Ангола (2014 г.), была выделена группа локальных аномалий электропроводности трубчатого типа, по-видимому связанная с кимберлитовыми трубками. При последующей наземной геолого-геофизической заверке одной из аномалий установлена ее трубчатая природа. По результатам моделирования геофизических данных с глубины 100 м устанавливается магнитовозмущающий



**Рис. 3. Результаты картирования по данным КАГС-50 на Попигайской площади (R-49-III, IV, IX, X), 2022 г.**

*a* — геологическая карта ГК-1000/3; отражение структур фундамента Сибирской платформы; *b* — в аномальном магнитном поле, *c* — в поле эффективной удельной электропроводности на частоте 2080 Гц, *d* — в вертикальном градиенте поля силы тяжести; отражение структур чехла Сибирской платформы; *e* — в поле мощности дозы суммарного гамма-излучения, *f* — на карте радиогеохимической зональности, *g* — отражение структурно-вещественных комплексов с разрывной тектоникой на схеме районирования геофизических полей, *h* — схема геологической интерпретации геофизических данных

Источник: составлено авторами П. В. Кирплюком, Р. А. Леденским по материалам отчета\*

**Fig. 3. Mapping results from the complex airborne geophysical survey of the Popigai site, scale of 1 : 50,000 (R-49-III, IV, IX, X), 2022**

*a* — State Geological Map, scale of 1 : 1,000,000 (third generation); presentation of the Siberian Platform basement structures; *b* — in an anomalous magnetic field, *c* — in an effective electrical conductivity field at a frequency of 2,080 Hz, *d* — in a vertical gravity gradient; presentation of the Siberian Platform cover structures; *e* — in a cumulative gamma-ray radiation dose rate field, *f* — in a radiogeochimical zoning map, *g* — presentation of structural and compositional complexes with fault tectonics in the geophysical field zoning diagram, *h* — geological interpretation data diagram

Source: adapted by the authors P. V. Kirplyuk, R. A. Ledengskiy from the report\*\*

\*Окончательный геологический отчет о результатах работ за 2023 г. по объекту «Комплексная аэрогеофизическая (аэромагнитная, аэроэлектроразведочная, аэрогамма-спектрометрическая) съемка масштаба 1 : 50 000 и гиперспектральная съемка листов R-49-III, IV, IX, X (Попигайская площадь)»

\*\*Final geological report 2023, the object "Complex airborne geophysical (aeromagnetic, airborne electromagnetic, airborne gamma-ray spectrometer) survey, scale of 1 : 50,000, and hyperspectral survey of sheets R-49-III, IV, IX, X (Popigai site)"



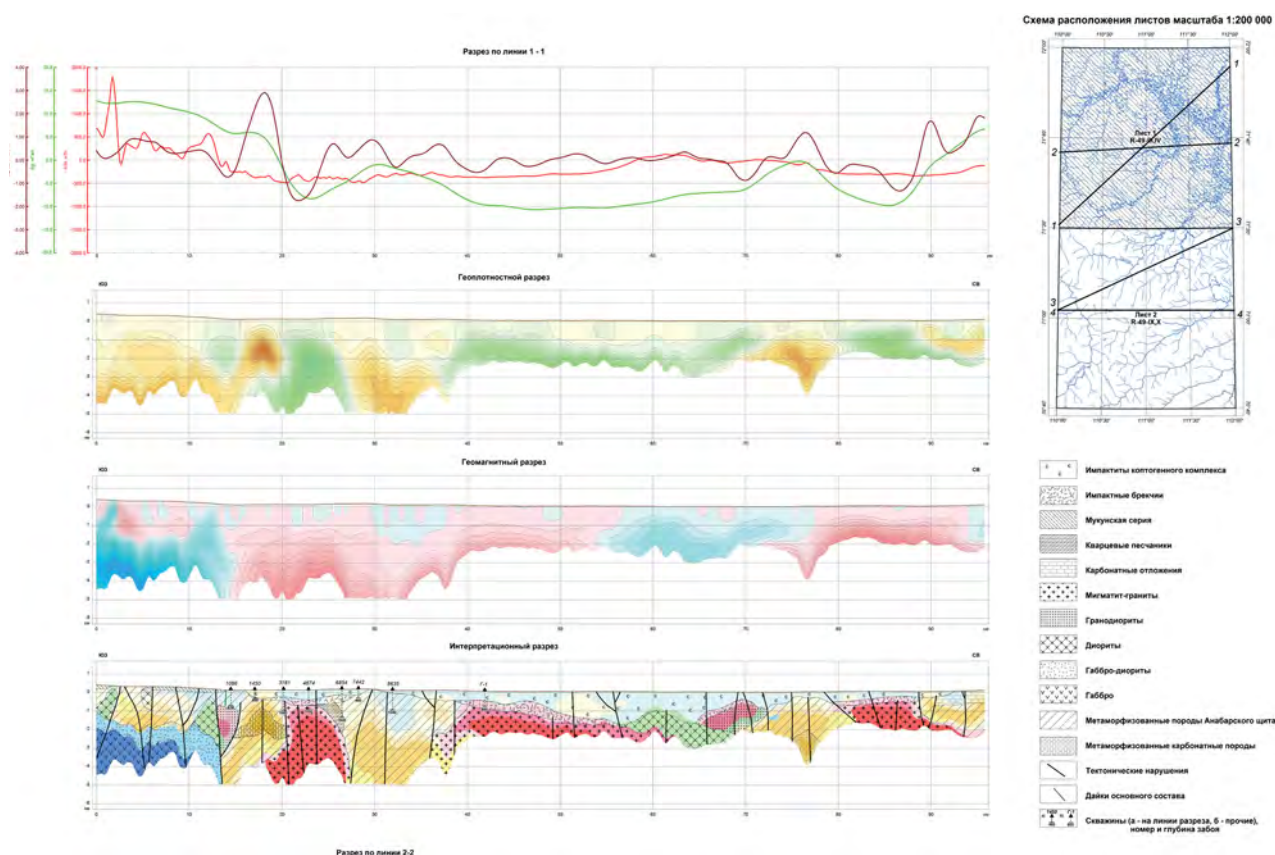


Рис. 4. Геолого-геофизический разрез по линии 1-1, Попигайская площадь

Источник: составлено Р. А. Леденским по материалам отчета (см. отчет в подписи к рис. 3)

Fig. 4. Geological and geophysical section 1-1, Popigai site

Source: adapted by P. A. Ledengskiy from the report (refer to the report in fig. 3 caption)

объект трубчатого типа, предположительно, кимберлитового состава [5].

На площади этого же листа (в юго-восточной части) был выделен объект, имеющий перспективы выявления уранового оруденения типа «несогласие», его перспективы также подтверждены наземными геолого-геофизическими работами [7].

Другим примером методического подхода прогнозирования являются результаты работ на Расошинской площади в 2018 г., на которой была выделена аэрогамма-спектрометрическая аномалия в сопровождении шлихового ореола меди и свинца. Это позволило сделать предположение о вероятном присутствии слабо эродированной гидротермальной рудно-магматической системы и наметить здесь участок для постановки наземных геолого-геофизических работ. В результате последующих наземных геолого-геофизических работ здесь впервые установлена верхняя часть рудно-магматической системы с медно-порфировым оруденением с перспективами выявления крупного месторождения [3].

В следующем, 2025 г. коллективу филиала предстоит участвовать в реализации государственной программы «Геология. Возрождение легенды», которая направлена на оценку перспектив и поиски полезных ископаемых в Центральной Сибири и Дальневосточных регионах. Мы полагаем, что

коллектив Норильского филиала Института Карпинского является одним из лидеров среди организаций, занятых производством аэро- и наземных геофизических работ, и полностью подготовлен для решения задач, стоящих перед этим проектом.

В завершающей части нашей работы хотелось бы обратить внимание на некоторые проблемы, прямо или косвенно связанные с производством аэрогеофизических работ и сказывающиеся на их эффективности.

В современных условиях коммерциализации информации в сфере поиска и разведки месторождений полезных ископаемых и запрета на разглашение коммерческой тайны (Стратегия-2030) [9] геофизики, участвовавшие в прогнозе, не могут получить информацию о конечных результатах данного ими прогноза. Кроме того, от момента прогноза до практической его проверки нередко проходят долгие годы, и проследить его результат не представляется возможным. Это большая проблема в деле изыскательского прогнозирования.

Проведение опережающих аэрогеофизических работ в рамках программы ГДП-200 закреплено на уровне законодательства и почти все объекты предваряются аэрогеофизическими съемками. Заверка аномалий, призванная подтвердить или опровергнуть достоверность прогнозных построений и вывести геологов на поисковый объект,



не предусматривается в программе работ. Такой подход, по-нашему мнению, имеет слабо аргументированный формалистический характер и нередко ведет к дополнительным и необоснованным расходам государственных средств на последующих стадиях поиска месторождений.

Во времена СССР Министерство геологии целенаправленно и систематически проводило исследования по совершенствованию теоретических основ и практического применения геофизических

методов, конструировалась и создавалась соответствующая аппаратура. Над этим трудились коллективы научно-производственных организаций. Теоретические и конструкторские разработки, после их тщательного изучения в ходе опытно-методических натурных испытаний и последующей массовой практической проверки их эффективности в производственных организациях, производящих геофизические работы в различных условиях, становились основой, на которой создана вся современная

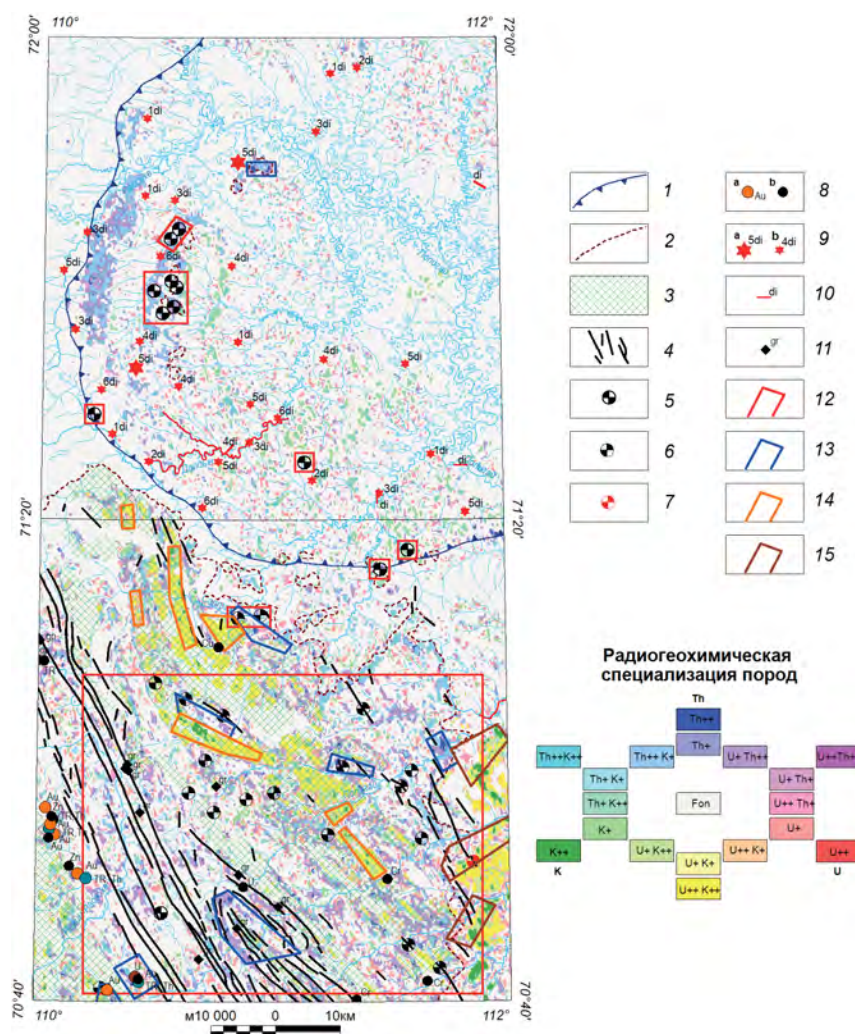


Рис. 5. Прогнозная схема по данным КАГС-50 на Попигайской площади (R-49-III, IV, IX, X), 2022 г.

1 — граница Попигайской астроблемы; 2 — граница Анабарского щита; 3 — зоны гидротермально-метасоматических изменений; 4 — графит-содержащие гнейсы. Локальные геофизические аномалии, ассоциирующиеся с трубками взрыва: 5 — магнитные, проводящие; 6 — проводящие, слабомагнитные; 7 — аномалия проводимости, заверенная наземными геолого-геофизическими наблюдениями. Полезные ископаемые: 8 — проявления (a), пункты минерализации (b). Алмазы импактные: 9 — коренные, месторождения (a), пункты минерализации (b); 10 — россыпные; 11 — проявления графита. Перспективные участки для поисковых работ: 12 — на кимберлитовые алмазы; 13 — на редкоземельное и редкометалльное оруденение; 14 — на золото-полиметаллическое оруденение; 15 — на урановое оруденение типа «несогласия»

Источник: составлено автором П. В. Кирплюком по материалам отчета (см. отчет в подписи к рис. 3)

Fig. 5 Predictive diagram from the complex airborne geophysical survey of the Popigai site, scale of 1 : 50,000 (R-49-III, IV, IX, X), 2022

1 — Popigai astrobleme boundary; 2 — Anabar Shield boundary; 3 — hydrothermal and metasomatic changes zones; 4 — graphite-bearing gneisses. Pipe-associated local geophysical anomalies: 5 — magnetic, conductive; 6 — conductive, weakly magnetic; 7 — conductivity anomaly confirmed by ground geological and geophysical observation. Mineral resources: 8 — occurrences (a), mineralization points (b); 9 — primary, deposits (a), mineralization points (b); 10 — placer; 11 — graphite occurrences, Promising exploration areas of 12 — kimberlite diamonds; 13 — rare earth and rare metal mineralization; 14 — gold-polymetallic mineralization; 15 — unconformity-type uranium mineralization

Source: adapted by the author P. V. Kirpilyuk from the report (refer to fig. 3 caption)

геофизическая нормативно-инструктивная и методическая документация. Так работала схема наука–производство, в рамках государственных программ выполнялись специальные исследования методики, техники и теории высокоточных геофизических исследований, отраженных, в частности, в содержании технической инструкции по аэрогамма-спектрометрической съемке, утвержденной в 1976 г., а также в инструкции по магниторазведке, изданной в 1981 г. [1; 11]. Этими инструкциями полевая геофизика руководствуется и сегодня. Современные инструктивно-нормативные материалы в области геофизики в настоящее время отсутствуют.

В комплексе аэрогеофизических работ по программам государственного геологического картирования на первом этапе, как было показано выше, выполняются аэросъемки, инструментальной основой которых являются магнитометры, гамма-спектрометры, электроразведочные модули в различных модификациях и спутниковые системы навигации. Если с измерительными модулями аэромагнитометров и электроразведочными комплексами дела обстоят удовлетворительно, поскольку их самостоятельно разрабатывают и производят ГНПП «Аэрогеофизика», ООО «Геотехнологии», АО «ЕМ-Разведка» [8; 10], то с *квантовыми магнитометрическими датчиками* до недавнего времени ситуация была крайне неблагоприятная. Российские аэрогеофизические организации предпочитают датчики CS-3 производства канадской компании Scintrex Limited, да и сейчас все еще продолжают использовать приборы этой фирмы, прекратившей продажу своей продукции в России. Однако завершение разработок и начало выпуска отечественного аналога этих приборов такими компаниями как ООО «Геодевайс» и АО «НПП «Радар ммс» (Санкт-Петербург), которые по техническим характеристикам приближаются к зарубежным аналогам, обнадеживает, поскольку потребность в квантовых магнитометрических датчиках постепенно удовлетворяется.

Состояние дел в сфере выпуска аэрогамма-спектрометрии — неудовлетворительное. Об этом свидетельствует факт отсутствия на российском рынке продукции отечественного приборостроения для производства аэрогамма-спектрометрической съемки. Российское приборостроение прекратило выпуск аэрогамма-спектрометров в конце 1990-х годов; интенции к его возобновлению пока отсутствуют. Эксплуатируются зарубежные модели, отличающиеся не только высоким качеством, но и высокой стоимостью. До недавнего времени, например, приобретение минимально необходимого для аэрогамма-спектрометрической съемки комплекса приборов RS-500 (блок интерфейса RS-501, два блока детектирования RSX-4 по 16 л, общим объемом 32 л, с датчиками давления и температуры Honeywell PPT) канадской компании Radiation Solutions Inc. российскому покупателю обходилось в 100 с лишним млн руб. В условиях санкций даже столь дорогая покупка стала затруднительной. Поэтому хотелось бы обратить внимание Департамента государственной политики и регулирования в области геологии

и недропользования на проблемы в сфере геофизического приборостроения в стране.

Есть и другие проблемы, влияющие на эффективность аэрогеофизических работ, например, отсутствие российских, более совершенных версий фундаментальных программных продуктов типа Oasis Montaj (Geosoft) или сокращение подготовки полевых геофизиков в ведущих вузах страны [9], что сказывается на замедлении обновления кадров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Методические подходы изучения геологического пространства на основе интерпретации материалов аэрогеофизических съемок позволяют создавать качественные геофизические основы, которые становятся базисом геологического картирования и поисков полезных ископаемых, а также определения направлений стратегии развития изучаемых территорий.

2. Норильский филиал ФГБУ «Институт Карпинского» в полной мере обладает технологией производства аэрогеофизических съемок и методическими подходами интерпретации геофизических данных для решения широкого круга геологических задач, в т. ч. геологического картирования и прогнозирования цветных и благородных металлов, а также алмазов.

3. Наземные геолого-геофизические работы по заверке аномалий должны являться неотъемлемой (составной) частью геологоразведочных работ при ГДП-200.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Глебовский Ю. С., Никитский В. Е. Инструкция по магниторазведке. Л.: Недра, 1981. 263 с.
2. Кирплюк П. В. Радиогеохимические признаки медно-порфирового оруденения // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов: Тез. докл. VII научно-практической конференции. М.: ЦНИГРИ, 2017. С. 22–23.
3. Лазарев Ф. Д., Маджара А. В., Старостин В. К. К вопросу выбора оптимальной высоты полета воздушного судна при производстве аэро-гамма-спектрометрической съемки // Разведка и охрана недр. 2019. № 6. С. 19–28.
4. Лазарев Ф. Д., Кирплюк П. В., Онищенко А. Н. Прогнозирование рудно-магматических систем на основе аэрогеофизических данных при ГДП-200 // Разведка и охрана недр. 2021. № 4. С. 26–34.
5. Перспективы алмазности восточной части Анабарского щита по данным аэрогеофизической съемки / Ф. Д. Лазарев [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. № 99. С. 107–115. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_99\\_107-115](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_99_107-115).
6. Леденгский Р. А. Картирование интрузивных массивов северной части Балыгычано-Сугойского прогиба (Магаданская область) по геофизическим данным // Региональная геология и металлогения. 2021. № 88. С. 84–98. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2021\\_88\\_84-98](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2021_88_84-98).
7. Перспективы выявления месторождений урана типа «несогласия» на щитах сибирской платформы / А. В. Молчанов [и др.] // Разведка и охрана недр. 2024. № 4. С. 25–37.

8. Мойланен Е. А. Методы и алгоритмы обработки измерений и интерпретации данных в комбинированных электроразведочных системах // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2024.

9. Стратегия развития геологической отрасли до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 21 июня 2010 г. № 1039-р) // Правительство России. Министерства и ведомства. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России). URL: <http://government.ru/departments/48/events/> (дата обращения: 02.12.2024).

10. Трусов А. А. Особенности современной аэроэлектроразведки // Разведка и охрана недр. 2011. № 7. С. 31–36.

11. Вавилин Л. Н., Матвеев А. В., Филимонов В. В. Техническая инструкция по аэрогамма-спектрометрической съемке. М., 1977. 188 с.

## REFERENCES

1. Glebovsky Yu. S., Nikitskiy V. E. Instructions for magnetic exploration. Leningrad: Publishing house "Nedra"; 1981. 263 p. (In Russ.).

2. Kirplyuk P. V. Radiogeochemical signs of porphyry copper mineralization. Scientific and methodological foundations of forecasting, prospecting and evaluation of deposits of pre-cious, non-ferrous metals and diamonds: *Thesis of the VII scientific and practical conference*. Moscow: TsNIGRI; 2017. P. 22–23. (In Russ.).

3. Lazarev F. D., Majara A. V., Starostin V. K. On the issue of choosing the optimal flight altitude of an aircraft during the production of aero-gamma spectrometric imaging. *Exploration and protection of mineral resources*. 2019; (6): 19–28. (In Russ.).

4. Lazarev F. D., Kirplyuk P. V., Onishchenko A. N. Forecasting of ore-magmatic systems based on aerogeophysical data at GDP200. *Exploration and protection of the subsoil*. 2021; (4): 26–34. (In Russ.).

5. Prospects for the diamond content of the Anabar shield according to the data of the aerogeophysical survey / F. D. Lazarev [et al.]. *Regional geology and Metallogeny*. 2024; (99): 107–115. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_99\\_107-115](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_99_107-115). (In Russ.).

6. Ledengsky R. A. Mapping of intrusive massifs of the northern part of the Bazhchan-Sugoyksky trough (Magadan region) according to geophysical data. *Regional geology and Metallogeny*. 2021; (88): 84–98. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2021\\_88\\_84-98](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2021_88_84-98). (In Russ.).

7. Prospects for identifying deposits of uranium of the "disagreement" type on the shields of the Siberian platform / A. V. Molchanov [et al.]. *Exploration and protection of the subsoil*. 2024; (4): 25–37. (In Russ.).

8. Moilanen E. A. Methods and algorithms for processing measurements and data interpretation in combined electrical exploration systems. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of technical Sciences. Moscow; 2024. (In Russ.).

9. Strategy for the development of the geological industry until 2030 (approved by Decree of the Government of the Russian Federation No. 1039-r dated June 21, 2010). The Government of Russia. Ministries and departments. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation (Ministry of Natural Resources of the Russian Federation). URL: <http://government.ru/departments/48/events/> (accessed 02.12.2024). (In Russ.).

10. Trusov A. A. The features of modern electric exploration. *Exploration and protection of the subsoil*. 2011; (7): 31–36. (In Russ.).

11. Vavilin L. N., Matveev A. V., Filimonov V. V. Technical instructions for aerogamma spectrometric photography. Moscow; 1977. 188 p. (In Russ.).

## Федор Дмитриевич Лазарев

Кандидат геолого-минералогических наук,  
директор

Норильский филиал Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского, Норильск, Россия

FLazarev@karpinskyinstitute.ru

## Павел Валентинович Кирплюк

Главный геофизик

Норильский филиал Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского, Норильск, Россия

Pavel\_Kirplyk@karpinskyinstitute.ru

## Андрей Николаевич Онищенко

Главный геолог

Норильский филиал Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского, Норильск, Россия

Andrey\_Onishenko@karpinskyinstitute.ru

## Fedor D. Lazarev

PhD (Geology and Mineralogy),  
Director

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Norilsk Branch, Norilsk, Russia

FLazarev@karpinskyinstitute.ru

## Pavel V. Kirplyuk

Chief Geophysicist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Norilsk Branch, Norilsk, Russia

Pavel\_Kirplyk@karpinskyinstitute.ru

## Andrey N. Onishchenko

Chief Geologist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Norilsk Branch, Norilsk, Russia

Andrey\_Onishenko@karpinskyinstitute.ru



## Роман Андреевич Леденгский

Геофизик 1-й категории

Норильский филиал Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского, Норильск, Россия

Roman\_Ledengskiy@karpinskyinstitute.ru

## Roman A. Ledengskiy

First Category Geophysicist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Norilsk Branch, Norilsk, Russia

Roman\_Ledengskiy@karpinskyinstitute.ru

## Владимир Карпович Старостин

Кандидат геолого-минералогических наук, геолог

Норильский филиал Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского, Норильск, Россия

Starostinvk@yandex.ru

## Vladimir K. Starostin

PhD (Geology and Mineralogy), Geologist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Norilsk Branch, Norilsk, Russia

Starostinvk@yandex.ru

---

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 02.12.2024  
Одобрена после рецензирования 17.12.2024  
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 02.12.2024  
Approved after reviewing 17.12.2024  
Accepted for publication 28.12.2024

Научная статья

УДК 552.321.1/.4:553.43'411(470)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_126-146

**Оценка перспектив рудоносности  
гранитоидных комплексов территории  
Российской Федерации  
на золото-медно-порфировое оруденение  
по результатам изотопно-геохимического  
изучения акцессорных цирконов**

В. В. Шатов<sup>1</sup>✉, М. А. Ткаченко<sup>1</sup>,  
Т. Н. Зубова<sup>1</sup>, С. С. Шевченко<sup>1</sup>,  
В. И. Леонтьев<sup>1</sup>, Б. В. Беляцкий<sup>1</sup>,  
Н. В. Родионов<sup>1</sup>, С. А. Сергеев<sup>1</sup>,  
А. В. Тарасов<sup>2</sup>, С. И. Трушин<sup>3</sup>,  
А. В. Козлов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт  
им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,  
vitaly\_shatov@karpinskyinstitute.ru✉

<sup>2</sup>Федеральное агентство по недропользованию, Москва, Россия

<sup>3</sup>АО «Полиметалл», Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, Россия

**Ключевые слова:** изотопно-геохимические исследования цирконов (PIZs), рудоносность магматических пород, золото-медно-порфировое оруденение, территория Российской Федерации

**Для цитирования:** Оценка перспектив рудоносности гранитоидных комплексов территории Российской Федерации на золото-медно-порфировое оруденение по результатам изотопно-геохимического изучения акцессорных цирконов / В. В. Шатов [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 126–146. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_126-146](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_126-146)

**Аннотация.** В статье обсуждаются новые данные, полученные в ходе регионального прогнозно-минерагенического анализа территории Российской Федерации на золото-медно-порфировое оруденение на основе изучения закономерностей распределения элементов-примесей (REE+Y, Ti, Hf, U, Th, Pb) в акцессорных цирконах. В них определялись индикативные геохимические параметры — Porphyry Indicator Zircons (PIZs): 1) Ce/Nd; 2) Eu/Eu\*; 3) (Ce/Nd)/Y; 4) Dy/Yb; 5) (10000xEu/Eu\*)/Y; 6) Th/U и 7) T° C (*Ti-in-zircon thermometer*), предложенные Х. Пизарро с соавторами для разбраковки разновозрастных гранитоидных комплексов на потенциально рудоносные и «безрудные». За весь период исследований на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-IIe было изучено 317 образцов, принадлежащих 255 объектам исследования. Они относятся либо к интрузивным комплексам, либо к отдельным гранитоидным массивам (или к их отдельным фазам внедрения), перспективным на порфировое оруденение.

В результате было установлено, что большая часть из изученных комплексов гранитоидов показала отрицательный результат, тогда как наивысшей степени продуктивности (когда значения всех семи индикативных параметров PIZs соответствуют их референтным значениям) отвечает каждый восьмой из изученных объектов. Полученные результаты исследований позволили из более чем 200 перспективных участков обосновать по изотопно-геохимическим данным 15 площадей, находящихся в Нераспределенном фонде недр, что будет способствовать развитию заявительного принципа лицензирования в нашей стране.



© В. В. Шатов, М. А. Ткаченко, Т. Н. Зубова,  
С. С. Шевченко, В. И. Леонтьев, Б. В. Беляцкий,  
Н. В. Родионов, С. А. Сергеев, А. В. Тарасов,  
С. И. Трушин, А. В. Козлов, 2024

# Revealing the porphyry copper-gold potential in granitoid complexes of the Russian Federation based on Porphyry Indicator Zircons (PIZs)

V. V. Shatov<sup>1</sup>✉, M. A. Tkachenko<sup>1</sup>,  
T. N. Zubova<sup>1</sup>, S. S. Shevchenko<sup>1</sup>,  
V. I. Leontev<sup>1</sup>, B. V. Belyatsky<sup>1</sup>,  
N. V. Rodionov<sup>1</sup>, S. A. Sergeev<sup>1</sup>,  
A. V. Tarasov<sup>2</sup>, S. I. Trushin<sup>3</sup>,  
A. V. Kozlov<sup>4</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia, vitya\_shatov@karpinskyinstitute.ru✉

<sup>2</sup>Federal Subsoil Resources Management Agency, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Polymetal, Saint Petersburg, Russia

<sup>4</sup>Saint-Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

**Keywords:** Porphyry Indicator Zircons — PIZs, ore potential of magmatic rocks, copper-gold-porphyry mineralization, Russian Federation

**For citation:** Revealing the porphyry copper-gold potential in granitoid complexes of the Russian Federation based on Porphyry Indicator Zircons (PIZs) / V. V. Shatov [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024; 31 (4): 126–146. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_126-146](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_126-146)

**Abstract.** The paper discusses new data from the regional metallogenic surveillance of the Russian Federation territory for porphyry gold-copper mineralization after the authors analyzing the distribution patterns of trace elements (REE+Y, Ti, Hf, U, Th, Pb) in accessory zircons. They correspond to their indicative geochemical parameters — Porphyry Indicator Zircons (PIZs): 1) Ce/Nd; 2) Eu/Eu\*; 3) (Ce/Nd)/Y; 4) Dy/Yb; 5) (10000x(Eu/Eu\*)/Y); 6) Th/U and 7) T<sub>0</sub> C (*Ti-in-zircon thermometer*), which H. Pizarro et al. proposed to sort the granitoid complexes of different ages into potentially ore-bearing and barren. The SHRIMP-II secondary ion microprobe studied 317 samples belonging to 255 granitoid complexes. They relate to either intrusive complexes or separate granitoid massifs (or their separate intrusion phrases) as prospective for porphyry mineralization.

Most of the studied granitoid complexes were found to show a negative result, while only every eighth met the highest degree of productivity, when the values of all seven PIZs correspond to their reference values. The findings justify 15 new localities from the unlicensed subsoil fund out of more than 200 prospective sites, which will contribute to applying for new licenses in Russia.

## ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестно, что месторождения порфиrowого семейства относятся к числу главных источников меди, молибдена и золота на нашей планете. На долю порфиrowых месторождений в настоящее время приходится до 60 % мирового производства меди, 35–40 % — золота и более 95 % мирового производства молибдена [1–4].

Главными планетарными тектоническими структурами, контролирующими размещение месторождений порфиrowого семейства (рис. 1), являются [4]:

— Средиземноморско-Гималайский альпийский подвижный пояс, протянувшийся от Филиппин и Индонезийского архипелага через Тибет, Иран и Турцию до Болгарии и Румынии;

— Западно-Тихоокеанский и Восточно-Тихоокеанский окраинно-континентальные интрузивно-вулканические пояса;

— Урало-Монгольский подвижный пояс;

— Северо-Американский (Аппалачский) подвижный пояс;

— складчатые структуры древних щитов (в Австралии, Африке, Южной и Северной Америке, Восточно-Европейская платформа).

Открытие в последние несколько десятилетий крупных золото-медно-порфиrowых и медно-молибден-порфиrowых месторождений как в известных, так и в новых горнорудных районах (Пиббл на Аляске, Ою Толгой в Монголии, Чукару Пеки в Сербии, Каскабель в Перу, Быстринское в Забайкалье, Малмыж на Дальнем Востоке России и др.) дает основание предполагать, что роль порфиrowых объектов в мировой экономике меди с каждым годом будет только возрастать.

В нашей стране на долю порфиrowого геолого-промышленного типа приходится не более 21 % разведанных запасов меди и 6 % золота. Похожая картина сложилась и с молибденом. В структуре минерально-сырьевой базы (далее — МСБ) молибдена России на долю порфиrowых объектов приходится только 15 % разведанных запасов, тогда как в мире — 95 %. Еще в 2012 г. добыча меди на порфиrowых месторождениях России не велась. Однако в 2023 г. она составила уже около 20 %.



На данный момент на территории Российской Федерации выявлено 71 месторождение (17 — крупных, 15 — средних и 39 — мелких) и 518 рудопроявлений, которые с определенной долей условности можно отнести к порфировому геолого-промышленному типу (рис. 2). Из шести ведущих золото-медно-порфировых месторождений России четыре (Малмыж, Аксуг, Томинское и Михеевское) относятся к крупным по запасам месторождениям, одно — к средним (Сорское) и одно — это месторождение Песчанка — возможно, в ближайшее время после экспертизы Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых перейдет в разряд уникальных ( $\text{Cu} > 10$  млн т), таких как Эль-Тениенте, Рио-Бланко, Эскондида и Чукикамата в Чили, Грасберг в Папуа — Новая Гвинея, Кальмакыр и Дальнее в Узбекистане, Бингэм, Клаймакс и Хендерсон в США, Ою-Толгой в Монголии, Пэбл на Аляске и др. [2–8].

Здесь возникает закономерный вопрос: почему структура МСБ меди, золота и молибдена в России

так разительно отличается от мировой? В чем причина?

В геологическом отношении территория России выглядит достаточно благоприятно с точки зрения возможностей обнаружения новых порфировых объектов. В ее пределах установлены кайнозойские, мезозойские и палеозойские вулканоплутонические пояса окраинно-континентального типа, получил широкое развитие мощнейший островодужный или син- и постколлизийный магматизм. То есть, казалось бы, в пределах нашей страны существовали все необходимые условия для формирования порфировых объектов, а месторождений мало.

Ответ на это вопрос связан, по-видимому, с тем обстоятельством, что в течение длительного времени, еще начиная с советских времен, прогнозу и поискам этого типа рудных объектов на территории Российской Федерации не уделялось должное внимание из-за наличия гораздо более богатых медных руд в колчеданных и сульфидно-никелевых месторождениях. На прогнозирование порфирового

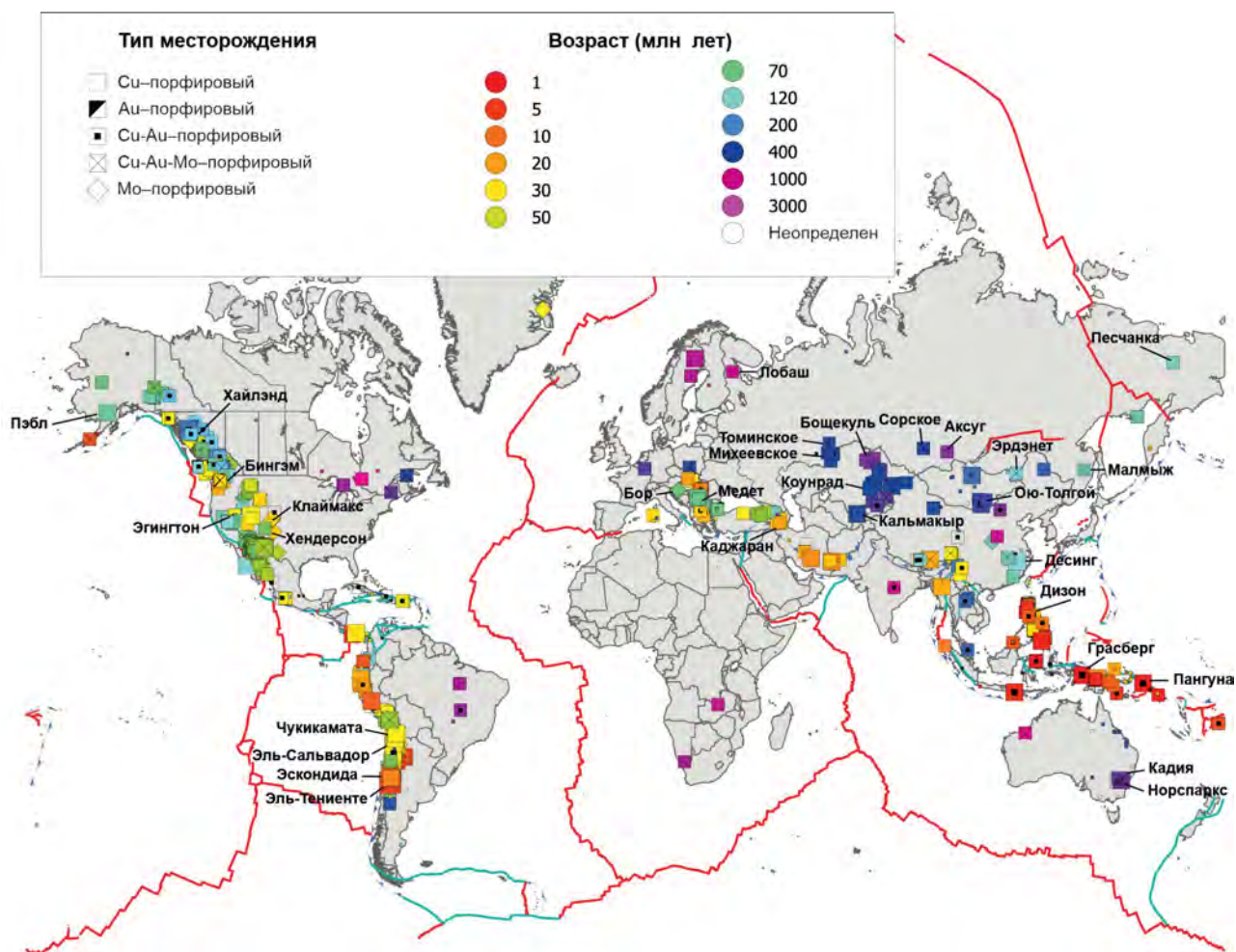


Рис. 1. Закономерности глобального распределения месторождений порфирового семейства с учетом их рудной специализации и возраста оруденения

Источник: составлено автором В. В. Шатовым на основе [4]

Fig. 1. Global distribution patterns of the porphyry family deposits, with their ore specialization and mineralization age considered

Source: adapted by the author V. V. Shatov from [4]

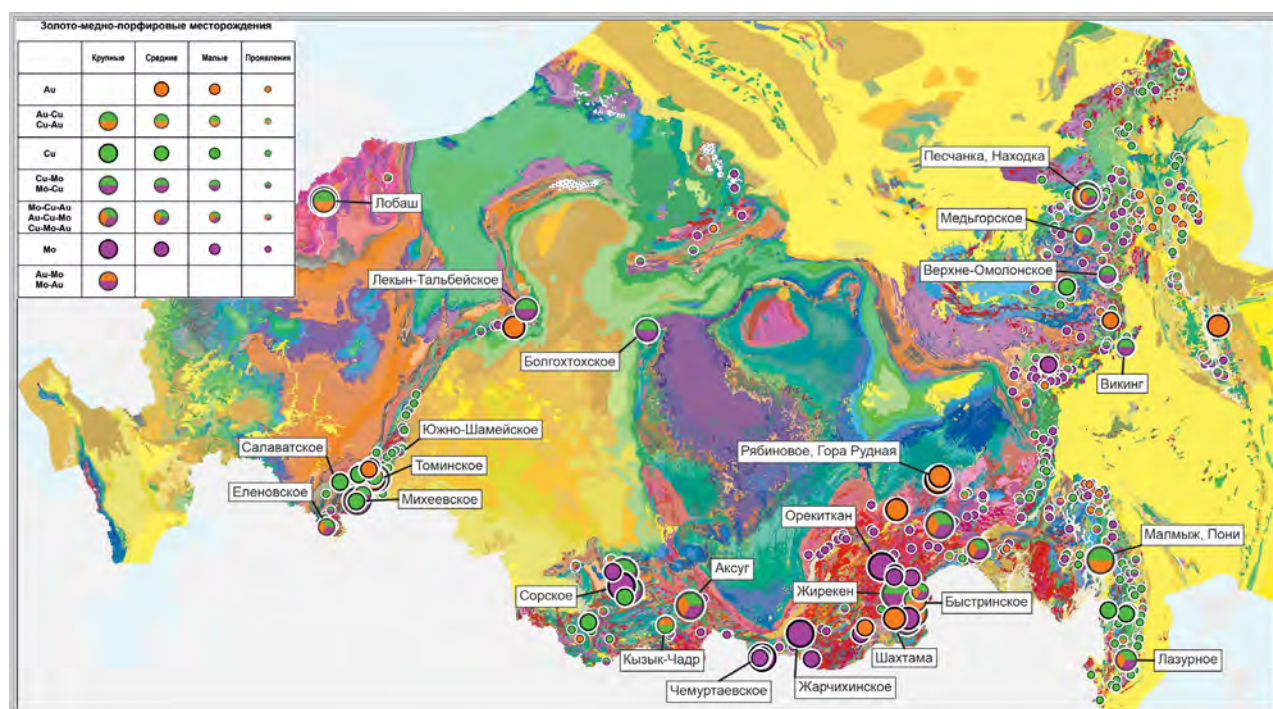


Рис. 2. Месторождения и рудопоявления порфирового семейства на территории Российской Федерации

Fig. 2. Porphyry family deposits and ore occurrences in the Russian Federation

оруденения все усилия были направлены в пределах Среднеазиатских и Закавказских Республик бывшего Советского Союза — в Казахстане, Узбекистане, Таджикистане, Кыргызстане и Армении, что привело к открытию там целого ряда порфировых объектов мирового класса, таких как Медный Коунрад, Бошекуль, Актогай, Айдарлы, Нурказган, Саяк, Коктасжал, Каратас, Коксай, Талдыбулак, Кальмакыр, Дальнее, Каджаран и др.

Тем не менее количество отечественных запасов меди, золота и молибдена, связанных с порфировыми объектами, хоть и медленно, но с каждым годом продолжает расти, прежде всего в связи с открытием таких крупных порфировых месторождений, как Малмыж и детальной разведки месторождения Песчанка на Дальнем Востоке России, как и ранее открытых Быстринского в Забайкалье, Михеевского и Томинского на Урале, Аксуг и Кызык-Чадр в Алтае-Саянской складчатой области и др. [5–8].

То есть можно ожидать, что перспективы воспроизводства МСБ меди, золота и молибдена нашей страны будут связаны в ближайшие годы, в том числе и с открытием и разведкой новых объектов порфирового семейства.

**Карта закономерностей размещения золото-медно-порфировых месторождений России.** ФГБУ «Институт Карпинского» в последние годы в результате реализации Государственной программы по региональному геологическому изучению недр территории Российской Федерации в масштабе 1 : 1 000 000 (3-е поколение) (далее — ГК-1000/3) и 1 : 200 000 (2-е издание) (далее — ГК-200/2) накоплен обширный фактический материал по характе-

ристике золото-медно-порфировых месторождений территории Российской Федерации, обстановкам их проявления и закономерностям размещения, что позволило составить *Карту закономерностей размещения золото-медно-порфировых месторождений России масштаба 1 : 2 500 000* [9].

Карта подготовлена в формате ArcGIS 10.2 и включает в себя целый ряд тематических «слоев», а также базу данных по рудным объектам порфирового семейства. На карте отражено положение всех известных месторождений, рудопоявлений и проявлений порфировой рудной минерализации, а также 297 рудных и потенциально рудных узлов, перспективных на обнаружение порфирового оруденения.

Анализ карты дал возможность локализовать на территории Российской Федерации более 200 перспективных на обнаружение порфировой рудной минерализации участков недр, привязанных к номенклатурным листам ГК-200/2 с целью постановки в их пределах геологического доизучения площадей указанного масштаба, в том числе 179 единиц (50 — первой и 129 — второй очереди) по территории Дальневосточного федерального округа [9] (табл. 1).

Однако здесь возникает закономерный вопрос: каким образом выделить среди такого многообразия перспективных участков наиболее интересные в поисковом отношении объекты?

Общеизвестно, что одной из главных проблем геологосъемочных работ на современном этапе является повышение их поисковой эффективности. Актуальность этой проблемы не вызывает сомнений



в связи с тем, что лимит легко открываемых месторождений, в том числе и золото-медно-порфирового геолого-промышленного типа, в настоящее время практически полностью исчерпан как в нашей стране, так и за рубежом. Новые рудные объекты могут быть обнаружены только за счет не выходящих на дневную поверхность рудных месторождений.

Повышение поисковой эффективности средне- и мелкомасштабных геологосъемочных работ, а также региональных прогнозно-минерагенических исследований можно ожидать от широкого привлечения наряду с геохимическими, геофизическими, дистанционными и другими методами, также и *прецизионных изотопно-геохимических методов исследования вещества горных пород, руд и минералов.*

**Прецизионные изотопно-геохимические методы исследования при прогнозировании порфирового оруденения.** В последние годы за рубежом, главным образом в Австралии, Канаде, США, Аргентине, Чили, Китае, Великобритании и в других странах, основные усилия геологов были направлены на изучение петрохимических и геохимических особенностей отдельных минералов-индикаторов рудоносных порфировых систем, с помощью которых можно было бы решать широкий спектр задач как петролого-генетического, так и прогнозно-поискового характера.

*Первое направление* — изучение химического состава типоморфных минералов гидротермально измененных пород, таких как *эпидот, хлорит, турмалин, магнетит, алунит, серицит-мусковит, пирит* и др., что позволяет определить направление и оценить расстояние до эпицентров рудоконцентрирования в пределах конкретных порфировых систем и осуществить оценку уровня их эрозионного среза.

*Второе направление* — изучение закономерностей распределения элементов-примесей и прежде всего редкоземельных элементов, а также Y, Hf, Nb, Ta, U, Th, Pb, Ti, V, Sc, Ba, Sr, Li, P и др. в акцессорных минералах, в первую очередь в цирконах.

То есть циркон, будучи одним из наиболее информативных акцессорных минералов магматических горных пород, может быть использован не только для оценки радиологического возраста их кристаллизации, но и для характеристики физико-химических и термодинамических условий формирования потенциально рудоносных материнских магматических расплавов.

Так, например, во многих публикациях по этому вопросу [10–30] было показано, что такие геохимические характеристики циркона, как содержание в нем Y, Hf, U, Th, P и Ti, величина отношений  $Ce/U$ ,  $U/Ti$ ,  $Ce/Ce^*$  и  $Eu/Eu^*$ , являются индикаторами степени окисления материнского гранитоидного расплава, уровня его водонасыщенности и температуры кристаллизации, а также степени магматического фракционирования в расплаве рудогенных и летучих компонентов, то есть физико-химических и термодинамических параметров, во многом предопределяющих возможность проявления в связи с гранитоидными интрузивами продуктивных порфировых систем.

Экспериментальными исследованиями установлено, что величины аномалий церия ( $Ce/Ce^*$ ) и европия ( $Eu/Eu^*$ ) в цирконе изменяются в зависимости от степени окисленности материнского магматического расплава. Так, например, цирконы из более окисленных магматических расплавов характеризуются, как правило, *высокими значениями положительных аномалий церия и наименьшими значениями отрицательных аномалий европия* [20]. Такая

Таблица 1

**Распределение по федеральным округам Российской Федерации наиболее перспективных для обнаружения порфировой рудной минерализации номенклатурных листов масштаба 1 : 200 000 с целью постановки в их пределах работ по ГДП-200/2**

Table 1. Topographic sheets distribution (scale of 1 : 200,000) by federal districts of the Russian Federation, with the most prospective porphyry mineralization sites included, in order to organize the relevant additional site exploration (scale of 1 : 200,000, second edition)

| Федеральный округ                 | Без учета ООПТ и изученности | С учетом ООПТ и изученности | Перспективные участки |             |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------|
|                                   |                              |                             | 1-й очереди           | 2-й очереди |
| Дальневосточный (без Саха Якутии) | 279                          | 179                         | 50                    | 129         |
| Дальневосточный (Саха Якутия)     | 46                           | 32                          | 9                     | 23          |
| Приволжский                       | 7                            | 0                           | 0                     | 0           |
| Северо-Западный                   | 1                            | 0                           | 0                     | 0           |
| Сибирский                         | 102                          | 44                          | 23                    | 21          |
| Уральский                         | 28                           | 1                           | 1                     | 0           |
| В целом по России                 | 463                          | 256                         | 83                    | 173         |

Источник: составлено автором В. В. Шатовым на основе [9]

Source: adapted by the author V. V. Shatov from [9]



«редокс» чувствительность имеет особое значение для прогнозирования порфировых месторождений, которые обычно формируются в тесной связи с внедрением в верхние части земной коры высокоокисленных и флюидонасыщенных известково-щелочных адakitовых расплавов.

Изучение цирконов из магматических пород, тесно ассоциирующих с рудной порфировой минерализацией, подтвердило эти закономерности. Однако, как показали результаты исследований М. А. Лоадера с соавторами [20] и Карраско-Годя с соавторами [18], совместная кристаллизация или предшествующая кристаллизация фосфатов (апатита, монацита, ксенотима и др.) и/или титанита может значительно повлиять на микроэлементный состав редкоземельных элементов циркона. Кроме того, этими авторами было продемонстрировано, что кристаллизация титанита может иметь большое влияние на уровень отрицательных аномалий европия. Поэтому было рекомендовано использовать для анализа только цирконы с содержаниями тантала выше 0,2 г/т, и фосфора ниже 176 г/т, т. к. в таких случаях можно предположить отсутствие влияния титанита и апатита на микроэлементный состав циркона.

На основе использования этих закономерностей Ю. Лу с соавторами [22] предложили ряд дополнительных геохимических параметров для данной модели формирования порфировых систем, а именно, расчет величин отношений  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$ ,  $\text{Eu}/\text{Eu}^*/\text{Y}$ ,  $\text{Dy}/\text{Nd}$ ,  $\text{Ce}/\text{Nd}$  и  $\text{Ce}/\text{Nd}/\text{Y}$ , которые позволяют более надежно разрабатывать порфировые магматические комплексы на потенциально рудоносные и «безрудные».

На данный момент предложенные этими авторами дискриминационные диаграммы (рис. 3) могут рассматриваться в качестве достаточно точного и надежного инструмента для определения продуктивности порфировых интрузивных массивов. Позднее Х. Пизарро с соавторами [29] на основе обобщения большого фактического материала по порфировым месторождениям мира удалось статистически обосновать семь основных индикативных геохимических параметров цирконов — Porphyry Indicator Zircons (далее —  $\text{PIZs}$ ), указывающих на то — был ли материнский гранитоидный расплав в достаточной степени водонасыщен, окислен, обогащен серой и рудогенными элементами для того, чтобы запустить продуктивную рудоформирующую порфировую систему (табл. 2).

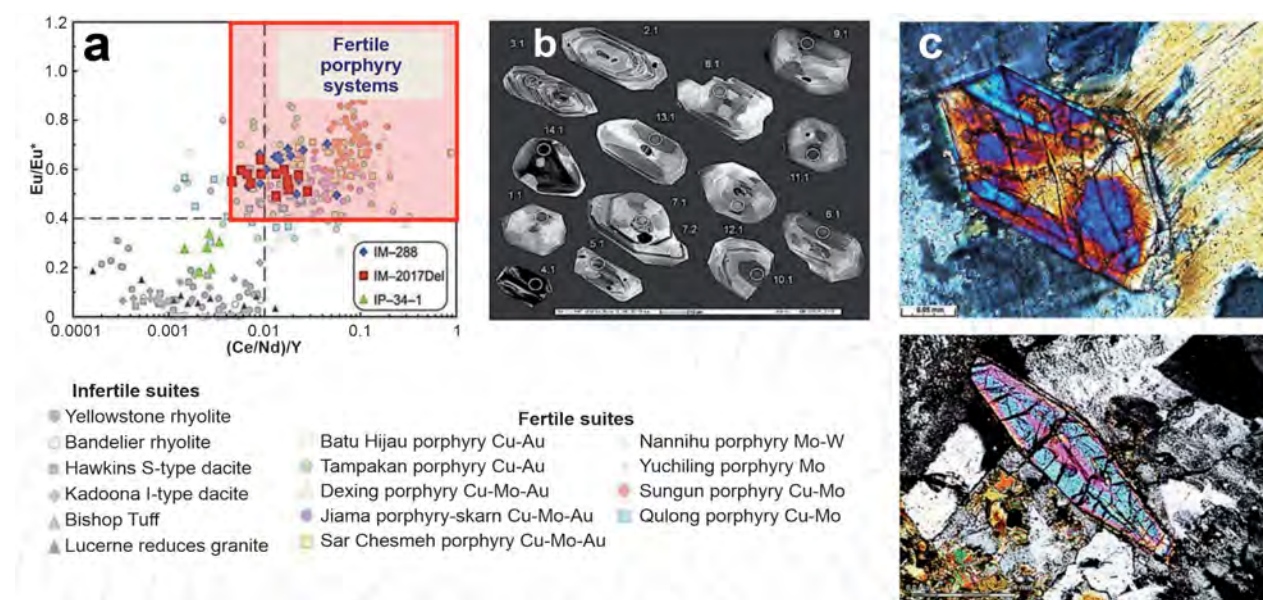


Рис. 3. Прецизионные изотопно-геохимические методы исследований при прогнозировании порфирового оруденения

**a** — положение геохимического состава изученных зерен цирконов из образцов магматических пород Малмыжского (обр. IM-288 и IM-2017Del) и Понийского (обр. IP-34-1) рудных полей на вариационной диаграмме:  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  —  $(\text{Ce}/\text{Nd})/\text{Y}$ , на которой для сравнения вынесены фигуративные точки геохимических составов цирконов из рудовмещающих интрузивных пород ведущих Au-Cu- и Au-Cu-Mo-порфировых месторождений Центрально-Азиатского подвижного пояса в сравнении с заведомо безрудными магматическими образованиями из различных регионов мира; **b** — катодолуминесцентное изображение зерен циркона из гранитоидов Малмыжского рудного поля; **c** — микрофотографии цирконов из гранитоидов Малмыжского и Понийского рудного поля

Источник: составлено автором В. В. Шатовым на основе [22]

Fig. 3. Precision isotope and geochemical research methods for predicting porphyry mineralization

**a** — geochemical composition of the studied zircon grains from igneous rock samples of the Malmyzh (samples IM-288 and IM-2017Del) and Poni (sample IP-34-1) ore fields, its location on the variation diagram  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  —  $(\text{Ce}/\text{Nd})/\text{Y}$ . Geochemical compositions of ore-hosting intrusive rock zircons from major Au-Cu- and Au-Cu-Mo-porphyry deposits of the Central Asian mobile belt display figurative points to compare with obviously barren igneous formations from various world regions; **b** — cathodoluminescence image of zircon grains from the Malmyzh ore field granitoids; **c** — microphotographs of zircons from the Malmyzh and Poni ore fields granitoids

Source: adapted by the author V. V. Shatov from [22]

В 2022 г. в рамках Госзадания Роснедра в ФГБУ «Институт Карпинского» был запущен трехлетний проект «*Определение критериев рудоносности гранитоидов в отношении золото-медно-порфирового оруденения по результатам изотопно-геохимического изучения акцессорных цирконов*» в пределах Уральской, Таймыро-Североземельской, Алтае-Саянской, Ангара-Енисейской, Анабаро-Виллюйской, Алдано-Забайкальской, Дальневосточной, Верхояно-Колымской, Охотоморской, Чукотской и Корякско-Курильской серий листов (далее — СЛ) ГК-1000/3.

Главная задача этих исследований заключалась в проведении регионального прогнозно-минерагенического анализа территории Российской Федерации на золото-медно-порфировое оруденение на основе изучения закономерностей распределения элементов-примесей (REE+Y, Ti, Hf, U, Th, Pb) в акцессорных цирконах с определением их PIZs, позволяющих разбраковывать разновозрастные гранитоидные комплексы на потенциально рудоносные и «безрудные».

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе реализации Государственной программы по региональному геологическому изучению недр территории России в масштабе 1 : 1 000 000 (3-е поколение) и 1 : 200 000 (2-е издание) в Институте Карпинского в период с 2002 по 2024 г. был создан Геохронологический атлас как интернет-ресурс изотопно-геохронологических данных по основным структурно-вещественным комплексам России.

Этот банк к началу работ по объекту насчитывал более 8000 определений возраста локальным U-Pb методом и содержал коллекцию готовых к исследованию **препаратов (эпоксидных шайб) с монофракциями цирконов**, ранее продатированных на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-IIe.

Использование этого банка эпоксидных шайб позволило исполнителям проекта подойти к решению выше поставленных задач, связанных, прежде всего, с разбраковкой порфировых магматических комплексов на *потенциально продуктивные* и «*безрудные*» в отношении порфирового оруденения.

Всего за весь период исследований, начиная с 2022 г., на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-IIe было изучено **317** образцов или эпоксидных шайб, принадлежащих к **255** объектам исследования, которые относились либо к интрузивным комплексам, либо к отдельным гранитоидным массивам (или к их отдельным фазам внедрения), перспективным на порфировое оруденение.

Выбор образцов с цирконами из банка эпоксидных шайб Центра изотопных исследований ФГБУ «Институт Карпинского» (далее — ЦИИ) под изучение на предмет определения PIZs осуществлялся в три этапа: в 2022 г. было изучено 100 обр., в 2023 г. — 100 обр. и в 2024 г. — 117 обр.

При этом использовались все имеющиеся у исполнителей данные: материалы регионального прогнозно-минерагенического анализа территории России на порфировое оруденение, текущие и ретроспективные результаты геологосъемочных работ ГК-1000/3 и ГК-200/2, а также опубликованные материалы специалистов из институтов РАН

Таблица 2

### Значения индикативных геохимических параметров циркона Porphyry Indicator Zircons (PIZs)

Table 2. Indicative geochemical parameters values of zircon – Porphyry Indicator Zircons (PIZs)

| № п/п | Индикативные геохимические параметры циркона (PIZs) | Референтные значения параметра PIZs            |                                   |
|-------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|
|       |                                                     | after Lu at al., 2016 and Pizarro et al., 2020 | after Carrasco-Godoy et al., 2024 |
| 1     | Ce/Nd                                               | > 1                                            | > 12                              |
| 2     | Eu/Eu*                                              | > 0,4                                          | > 0,36                            |
| 3     | (Ce/Nd)/Y                                           | > 0,01                                         | > 0,018                           |
| 4     | Dy/Yb                                               | < 0,3                                          | < 0,25                            |
| 5     | (10000xEu/Eu*)/Y                                    | > 1                                            | > 4,4                             |
| 6     | Th/U                                                | 0,1 ÷ 1,0                                      | –                                 |
| 7     | To C (Ti-in-zircon thermometer)                     | 637 ÷ 738                                      | –                                 |
| 8     | Gd (r/r)                                            | –                                              | < 13,5                            |
| 9     | Sm (r/r)                                            | –                                              | < 2,4                             |
| 10    | P (r/r)                                             | –                                              | < 176                             |

Источник: составлено авторами В. В. Шатовым, С. А. Сергеевым, Б. В. Беляцким, Н. В. Родионовым на основе [18; 22; 29]

Source: adapted by the authors V. V. Shatov, S. A. Sergeev, B. V. Belyatsky, N. V. Rodionov from [18; 22; 29]

и Минобрнауки. То есть в ходе этой селекционной работы была задействована большая группа специалистов как из региональных и предметных отделов ФГБУ «Институт Карпинского» (В. Н. Александров, А. А. Аленичева, А. А. Багаева, В. Н. Безруков, Е. А. Брусницына, Н. А. Гольцин, В. Г. Гузев, Н. И. Гусев, Д. В. Зархидзе, Ю. П. Змиевский, В. И. Леонтьев, К. Н. Мазуркевич, А. В. Молчанов, М. А. Павлова, В. М. Павлюк, С. Ю. Петров, М. Н. Петрова, В. Ф. Проскурнин, М. А. Проскурнина, С. В. Серегин, В. В. Снежко, Т. Н. Сурин, С. Н. Сычев, А. В. Терехов, Н. В. Шатова, В. И. Шпикерман, Ю. Ю. Юрченко и др.), так и из институтов РАН (И. В. Викентьев, А. И. Грабежев, А. А. Калинин, О. Ю. Плотинская, С. Г. Скублов и др.) и компаний-недропользователей (С. И. Трушин, А. И. Осецкий — АО «Полиметалл»).

При отборе образцов на определение PIZs в качестве петрогеохимических критериев их принадлежности к порфировому семейству авторы статьи использовали типовые вариационные диаграммы (рис. 4): 1) TAS ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ ); 2) глиноземистости  $\text{CaO}/[\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}] - \text{Al}_2\text{O}_3/[\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}]$ ; 3)  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} - \text{SiO}_2$  и 4)  $\text{Sr/Y} - \text{Y}$ , на которых, по данным литературных источников, показано положение фигуративных точек усредненных составов рудовмещающих интрузивных пород главных Cu-, Au-Cu-, Au-Cu-Mo-, Mo и Sn-порфириковых месторождений мира.

Определение индикативных геохимических характеристик циркона проводилось в тесном взаимодействии со специалистами ЦИИ Института Карпинского — С. А. Сергеевым, Н. В. Родионовым, Б. В. Беляцким и др.

Применение в ЦИИ вторично-ионного масс-спектрометра (SIMS) в сочетании с предварительной катодолюминесцентной и оптической документацией позволило исключить из рассмотрения не отвечающие по качеству фазы циркона и проводить в одном микрообъеме кристалла как U-Pb изотопное определение возраста, так и определение концентраций редкоземельных и других элементов-примесей. В результате чего была достигнута однозначная привязка определенного геологического события (процесса) к его геохимическому наполнению. Аналитические возможности локального U-Pb SIMS исследования позволили получить адекватную геохронологическую и геохимическую информацию по магматической генерации цирконов из всех 317 изученных образцов гранитоидов.

Анализ проводился на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-IIe в ЦИИ. Измерялись редкоземельные элементы (далее — РЗЭ), а также иттрий и гафний по методике количественного химического анализа, предложенного П. В. Хоскиным [30]. Интенсивность первичного пучка молекулярных отрицательно заряженных ионов кислорода  $\text{O}^{2-}$  составляла 3–4 нА, диаметр аналитического кратера 25–30 мкм.

Опорным пиком для нормализации относительно него измеряемых изотопов служил изотоп  $^{91}\text{Zr}$ . Вторичные положительно заряженные ионы направлялись с помощью ускоряющего напряжения 10 кВ в масс-спектрометр и регистрировались электронным умножителем в одноколлекторном режиме.

Энергетическое фильтрование применялось для уменьшения излишне высокой интенсивности пика циркония, при этом также подавляя изотопные наложения (ионов гидридов, окислов и других комплексов), что в совокупности с масс-разрешением 4000–5000 (1 % высоты пика) позволяло уверенно отделять каждый измеряемый полезный пик от паразитного наложения. Во время анализа регистрировалось три масс-спектра нижеперечисленных изотопов:  $^{89}\text{Y}$ ,  $^{91}\text{Zr}$ ,  $^{139}\text{La}$ ,  $^{140}\text{Ce}$ ,  $^{141}\text{Pr}$ ,  $^{143}\text{Nd}$ ,  $^{146}\text{Nd}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ ,  $^{149}\text{Sm}$ ,  $^{151}\text{Eu}$ ,  $^{153}\text{Eu}$ ,  $^{155}\text{Gd}$ ,  $^{157}\text{Gd}$ ,  $^{159}\text{Tb}$ ,  $^{161}\text{Dy}$ ,  $^{163}\text{Dy}$ ,  $^{165}\text{Ho}$ ,  $^{166}\text{Er}$ ,  $^{167}\text{Er}$ ,  $^{169}\text{Tm}$ ,  $^{171}\text{Yb}$ ,  $^{172}\text{Yb}$ ,  $^{175}\text{Lu}$ ,  $^{178}\text{Hf}$ ,  $^{180}\text{Hf}$ .

Время накопления вторичного тока ионов составляли: 2 с для  $^{91}\text{Zr}$ , 10 с для  $^{89}\text{Y}$ , от 15 до 40 с для легких РЗЭ, 5–10 с для тяжелых РЗЭ и двух изотопов Hf. Длительность анализа не превышала 40 мин. Обработка полученных данных осуществлялась с использованием программы MS Excel. Регистрация для ряда измеряемых элементов парных изотопов позволяла осуществлять дополнительный контроль качества анализа по степени их совпадения (с учетом природной распространенности). Для учета наложения диммера  $^{178}\text{Hf}^{++}$  на пик  $^{89}\text{Y}$  вводилась поправка  $^{89}\text{Y}^* = (^{89}\text{Y} - ^{178}\text{Hf})/100$ . В течение измерительной сессии в качестве первичного стандарта концентраций использовалось стекло SRM NIST-611.

В качестве вторичного стандарта измерялись цирконы 91500 и M257, контрольный анализ которых считался приемлемым, если полученные содержания измеряемых элементов не превышали 15 % от известных значений [31–32].

Содержания редкоземельных элементов, а также иттрия, гафния, титана, свинца, урана и тория в цирконе определялись на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-IIe в тех же точках, где ранее был измерен возраст локальным U-Pb методом. Из 317 изученных образцов для расчета геохимических параметров циркона — PIZs использовались результаты замеров как минимум в 5 точках, реже в 10 точках и более. Всего за весь период исследований было произведено 1785 измерений содержаний выше перечисленных элементов-примесей в цирконах.

Точки для расчета PIZs выбирались из самых представительных (из измеренных ранее на возраст) 15 зерен циркона со схожей морфологией. При этом отбраковывались многофазные кристаллы циркона гибридного происхождения, а также кристаллы, содержащие древние ядра, метаморфические оболочки и т. п., то есть использовались только гомогенные популяции зерен циркона, кристаллизовавшиеся из гранитоидного расплава и не содержащие включения других акцессорных минералов, таких как апатит, монацит, ксенотим, титанит, рутил и алланит, то есть тех минералов, которые могли составить циркону конкуренцию и существенным образом повлиять на уровни концентрации в нем редкоземельных и других элементов-примесей.

В каждом из изученных 317 образцов определялись концентрации 14 редкоземельных элементов, а также Y и Hf в цирконе. Оценка температуры кристаллизации циркона выполнялась с помощью «Ti-в цирконе» геотермометра [28]. По результатам определения концентрации редких и редкоземель-



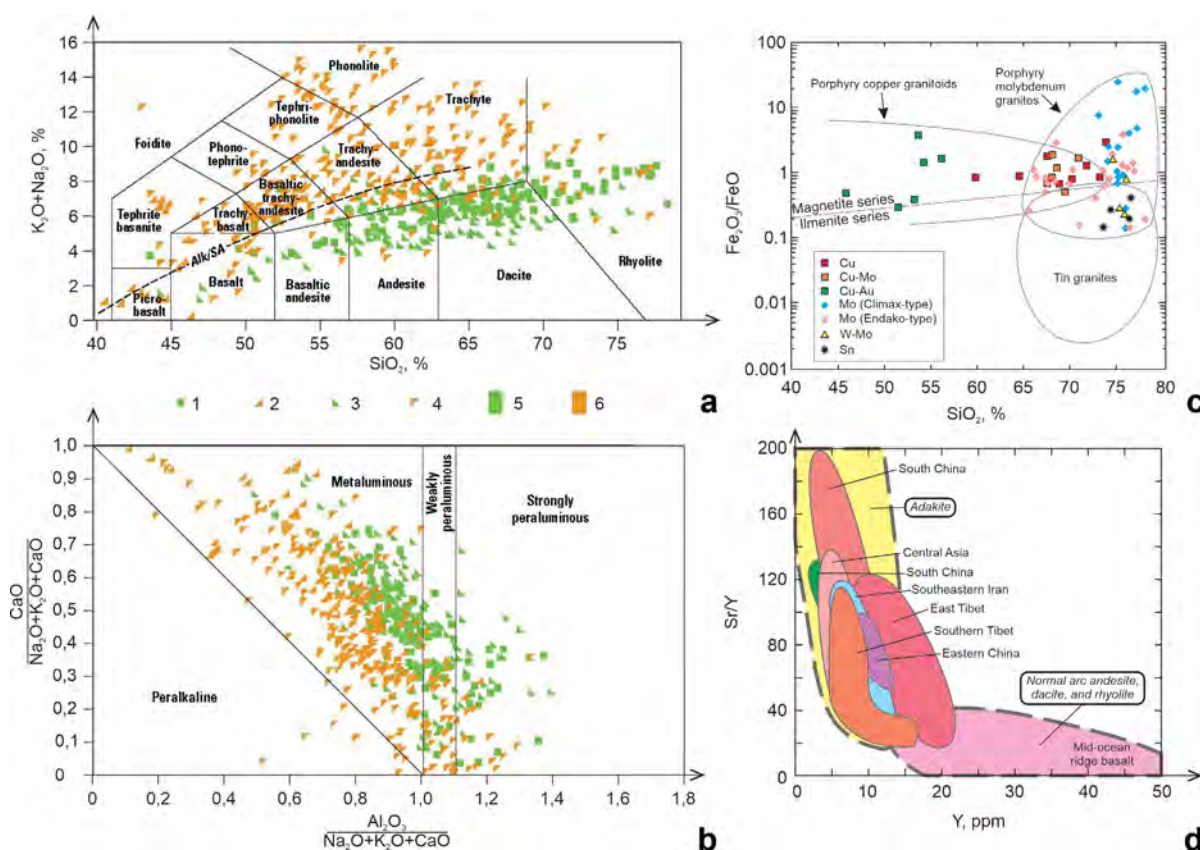


Рис. 4. Положение фигуративных точек усредненных составов рудовмещающих интрузивных пород главных Cu-, Au-Cu-, Au-Cu-Mo-, Mo и Sn-порфировых месторождений мира на петрохимических и геохимических вариационных диаграммах, предложенных Д. А. Джоном и соавторами, В. Д. Синклером [4] в качестве петрогеохимических индикативных показателей принадлежности изучаемых образцов магматических пород к порфировому семейству

**a** — TAS ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ), состав порфировых интрузивов: 1 — кварцево-монцодиорит-гранитовый Cu-(Mo), 2 — монзонитовый Cu-(Mo-Au), 3 — тоналит-гранодиоритовый Cu-(Au-Mo), 4 — сиенитовый Cu-(Au), 5 — габбро-диоритовый, 6 — щелочно-сиенитовый; **b** —  $\text{CaO}/[\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}]-\text{Al}_2\text{O}_3/[\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}]$ ; **c** —  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}-\text{SiO}_2$ ; **d** —  $\text{Sr}/\text{Y}-\text{Y}$

Источник: составлено автором В. В. Шатовым на основе [2; 4]

Fig. 4. Average compositions of ore-hosting intrusive rocks from major Cu-, Au-Cu-, Au-Cu-Mo-, Mo, and Sn-porphyry deposits of the world. The petrochemical and geochemical variation diagrams display figurative points that D. A. John et al. and V. D. Sinclair located as petrogeochemical indicators to identify the studied igneous rock samples as the ones from the porphyry family

**a** — TAS ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ), Porphyry intrusions composition: 1 — quartz monzodiorite, granite Cu-(Mo), 2 — monzonite Cu-(Mo-Au), 3 — tonalite-granodiorite Cu-(Au-Mo), 4 — syenite Cu-(Au), 5 — gabbro-diorite, 6 — alkali-syenite; **b** —  $\text{CaO}/[\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}]-\text{Al}_2\text{O}_3/[\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}]$ ; **c** —  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}-\text{SiO}_2$ ; **d** —  $\text{Sr}/\text{Y}-\text{Y}$ .

Source: adapted by the author V. V. Shatov from [2; 4]

ных элементов в цирконах рассчитывались значения всех семи индикативных геохимических параметров циркона — PIZs (см. табл. 2): 1) Ce/Nd; 2) Eu/Eu\*; 3) (Ce/Nd)/Y; 4) Dy/Yb; 5)  $(10000 \times \text{Eu}/\text{Eu}^*)/\text{Y}$ ; 6) Th/U и 7)  $T^\circ\text{C}$  (Ti-in-zircon thermometer).

Разработка изученных гранитоидных комплексов и массивов на потенциально рудоносные и «безрудные» проводилась по методике, приведенной в работах Ю. Лу с соавторами [22] и Х. Пизарро с соавторами [29].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 5 демонстрируется пространственное распределение изученных листов ГК-200/2 на территории Российской Федерации, в пределах которых определялись PIZs в образцах гранитоидов.

Изученные листы ГК-200/2 ранжированы по степени вероятности выявления в их пределах месторождений порфирового семейства на четыре группы: наивысшую, высокую, умеренную и низкую.

Наивысшая степень продуктивности присваивалась только тем из изученных образцов, у которых значения всех семи индикативных параметров PIZs совпадали с их референтными значениями (см. табл. 2). Высокая степень присваивалась в случае соответствия шести параметров из семи их референтным значениям, включая обязательно параметры 2 и 3 согласно данным табл. 2. Умеренная и низкая степень продуктивности в случае совпадения значений пяти, четырех и менее параметров их референтным значениям.

Анализ показывает (табл. 3), что большая часть (48 %) из изученных комплексов гранитоидов пока-

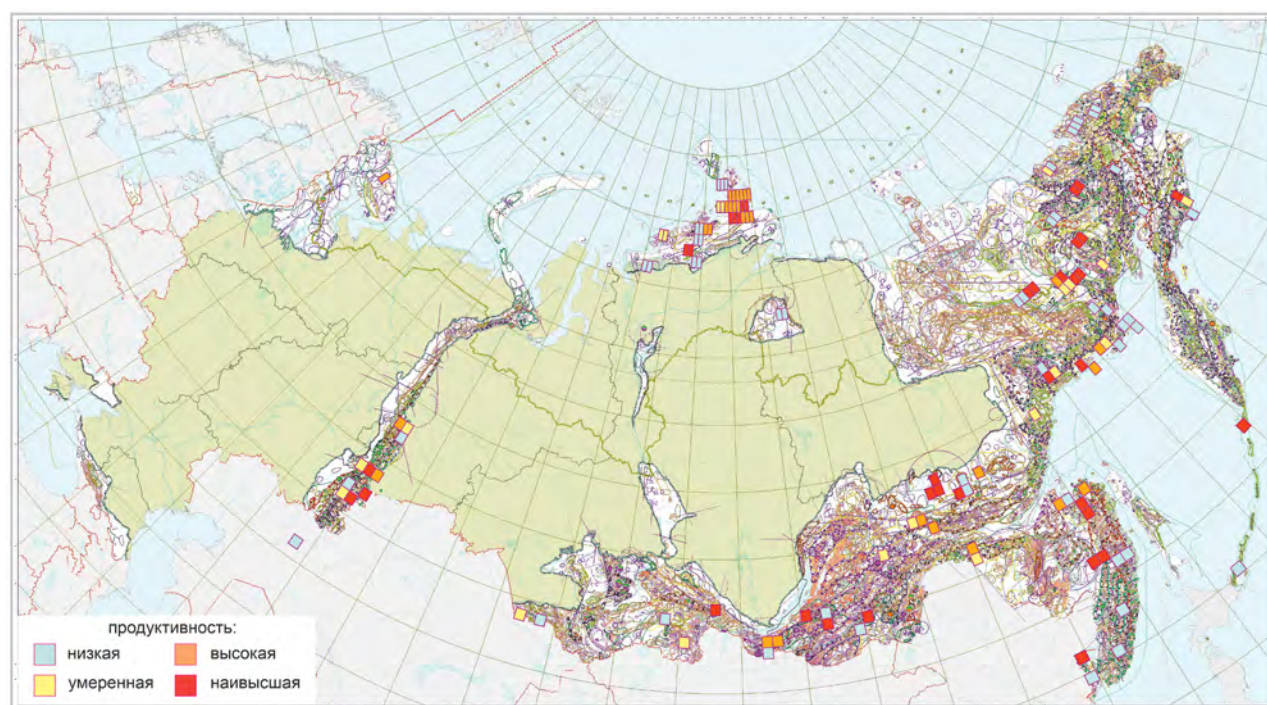


Рис. 5. Распределение магматических комплексов пород, изученных на предмет установления закономерностей распределения элементов-примесей (REE+Y, Ti, Hf, U, Th, Pb) в акцессорных цирконах с целью определения индикативных геохимических параметров циркона — PIZs (пояснения в тексте и в табл. 7)

Fig. 5. Igneous rock complexes distribution, with distribution patterns of trace elements (REE+Y, Ti, Hf, U, Th, Pb) in accessory zircons considered, in order to determine indicative geochemical parameters of zircon — PIZs (refer to the text and table 7)

зала отрицательный результат. Одна треть (35 %) приходится на высокую и умеренную продуктивность. Тогда как наивысшей степени продуктивности соответствуют только 17 % из общего числа изученных объектов.

Однако, если из этого количества исключить девять гранитоидных комплексов, изученных при тестировании методики в пределах конкретных порфировых месторождений России, таких как Малмыж, Песчанка, Михеевское, Томинское, Медьгорское,

Рябиновое, Морозкинское, Самолазовское и Тарутинское (табл. 4), то наивысшая степень продуктивности останется только у 33 объектов из 255 изученных, что соответствует 13 %. То есть можно сделать вывод, что только каждый **восьмой из изученных объектов** показал максимальную степень продуктивности на порфировое оруденение.

Распределение изученных объектов и их продуктивности по сериям листов ГК-1000/3 приводится в табл. 5 и на рис. 6. Как показывает анализ этих

Таблица 3

**Сводные результаты продуктивности по данным изотопно-геохимических исследований акцессорных цирконов из потенциально рудоносных на порфировое оруденение 255 изученных интрузивных комплексов гранитоидов (массивов или их отдельных частей — фаз внедрения)**

Table 3. Productivity summary results from the isotope and geochemical data on accessory zircons from 255 studied intrusive granitoid complexes (massifs or intrusion phases as their individual parts) as potential porphyry mineralization ones

| Продуктивность | Количество объектов | %   |
|----------------|---------------------|-----|
| Наивысшая      | 42                  | 17  |
| Высокая        | 31                  | 12  |
| Умеренная      | 59                  | 23  |
| Низкая         | 123                 | 48  |
| Итого          | 255                 | 100 |

Таблица 4

**Значения индикативных геохимических параметров циркона (PIZs) для рудоносных магматических пород некоторых промышленных порфировых и скарново-порфировых месторождений России**

Table 4. Indicative geochemical parameters values of zircon (PIZs) for ore-bearing igneous rocks from some Russian porphyry and skarn-porphyry commercial deposits

| № п/п | Месторождение | Порода                  | Возраст, млн лет | Индикативные геохимические параметры циркона — PIZs (Porphyry Indicator Zircons) (after Lu et al. [19], 2016 and Pizarro et al. [23]) |        |           |       |                   |           |                                  |
|-------|---------------|-------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|-------|-------------------|-----------|----------------------------------|
|       |               |                         |                  | Ce/Nd                                                                                                                                 | Eu/Eu* | (Ce/Nd)/Y | Dy/Yb | (10000x Eu/Eu*)/Y | Th/U      | To C (Ti-in-zircon thermo-meter) |
|       |               |                         |                  | > 1                                                                                                                                   | ≥ 0,4  | ≥ 0,01    | < 0,3 | > 1               | 0,1 ÷ 1,0 | 637 ÷ 738                        |
| 1     | Малмыж        | Кварцевый диорит-порфир | 98,3 ± 1,2       | 10,0                                                                                                                                  | 0,60   | 0,018     | 0,16  | 10,0              | 0,61      | 680                              |
| 2     | Песчанка      | Гранодиорит-порфир      | 140,0 ± 1,0      | 15,2                                                                                                                                  | 0,78   | 0,016     | 0,23  | 9,9               | 0,63      | 718                              |
| 3     | Михеевское    | Кварцевый диорит        | 356,0 ± 6,0      | 10,0                                                                                                                                  | 0,41   | 0,011     | 0,12  | 5,1               | 0,33      | 702                              |
| 4     | Томинское     | Кварцевый диорит-порфир | 432,6 ± 3,2      | 29,4                                                                                                                                  | 0,47   | 0,035     | 0,13  | 11,1              | 0,21      | 673                              |
| 5     | Медьгорское   | Кварцевый монцодиорит   | 143,4 ± 2,0      | 14,8                                                                                                                                  | 0,53   | 0,027     | 0,18  | 8,6               | 0,69      | 724                              |
| 6     | Рябиновое     | Сиенит                  | 142,5 ± 3,0      | 14,2                                                                                                                                  | 0,54   | 0,012     | 0,13  | 6,0               | 0,61      | 780                              |
| 7     | Морозкинское  | Сиенит-порфир           | 117,9 ± 1,4      | 22,5                                                                                                                                  | 1,07   | 0,013     | 0,13  | 2,6               | 0,57      | 696                              |
| 8     | Самолазовское | Сиенит                  | 130,0 ± 1,1      | 35,1                                                                                                                                  | 0,81   | 0,048     | 0,12  | 10,0              | 0,72      | 695                              |
| 9     | Тарутинское   | Плагитгранодиорит       | 362,0 ± 4,0      | 16,8                                                                                                                                  | 0,50   | 0,035     | 0,22  | 10,1              | 0,43      | 675                              |



материалов, основной объем изученных объектов и положительных результатов по ним приходится на серии листов ГК-1000/3, принадлежащих восточным регионам России: Верхне-Колымской, Дальневосточной, Охотоморской и Алдано-Забайкальской СЛ, где и сосредоточены основные перспективные объекты на золото-медно-порфировое оруденение.

В табл. 6 и на рис. 7 приводится характеристика распределения изученных образцов гранитоидов по возрасту (по данным изучения акцессорных цирконов локальным U-Pb SIMS методом и на PIZs). Анализ этих материалов показывает, что потенциально продуктивными на золото-медно-порфировое оруденение на территории России оказались главным образом гранитоиды мезозойского (мелового) возраста и в меньшей степени палеозойского возраста, тогда как в масштабе всей планеты основная масса порфировых месторождений связана с проявлением гранитоидного магматизма кайнозойского возраста.

Такое различие в продуктивности мезозойской и кайнозойской эпох на порфировое оруденение в России по сравнению с зарубежными странами может быть объяснено либо иной металлогенической специализацией северо-западной активной окраины Тихого океана, либо недостаточной геологической изученностью на порфировое оруденение структурно-формационных комплексов кайнозойского возраста в пределах территорий Дальневосточной, Охотоморской, Чукотской и Корякско-Курильской серий листов ГК-1000/3.

В табл. 7 приводится перечень объектов гранитоидных комплексов или отдельных массивов, пока-

завших *наивысшую* перспективность на порфировое оруденение по данным изучения PIZs, и из которого исключены магматические породы из изученных порфировых месторождений (Малмыж, Песчанка, Михеевское, Томинское, Рябиновое, Тарутинское, Самолазовское, Морозкинское и Медьгорское).

Категорийность перспективных объектов, показавших *наивысшую* и *высокую* перспективность на порфировое оруденение по данным изучения PIZs, демонстрируется материалами табл. 8.

По степени изученности здесь выделяются пять категорий перспективных объектов: 1) нелицензированные и поставленные на учет; 2) лицензированные и поставленные на учет; 3) лицензированные и не поставленные на учет; 4) нелицензированные и для которых наивысшая оценка их продуктивности на порфировое оруденение по данным PIZs оказалась недостаточной для постановки паспортов перспективных объектов (далее — ПО) на учет и 5) нелицензированные и для которых паспорта учета ПО находятся в стадии подготовки.

Из 36 перспективных объектов 21 оказался в Распределенном фонде недр, а 15 — в Нераспределенном фонде.

По этим 15 нелицензированным объектам, показавшим наивысший результат по продуктивности на порфировое оруденение по данным PIZs, были подготовлены или находятся в стадии подготовки Паспорта учета ПО.

Часть из них (6 объектов) прошла апробацию и поставлена на учет. Это Паспорта учета по Медьгорскому рудному узлу (далее — РУ), Каменному потенциальному рудному узлу (далее — ПРУ), Хавинскому

Таблица 5

#### Распределение количества изученных образцов и объектов по сериям листов ГК-1000/3

Table 5. Studied samples and objects number distribution by sheet series of the State Geological Map of the Russian Federation, scale 1 : 1,000,000 (third generation)

| № п/п | Серия листов ГК-1000/3         | Количество образцов | Количество объектов |
|-------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| 1     | Северо-Карско-Баренцевоморская | 4                   | 4                   |
| 2     | Уральская                      | 16                  | 13                  |
| 3     | Алтае-Саянская                 | 6                   | 6                   |
| 4     | Ангаро-Енисейская              | 10                  | 6                   |
| 5     | Анабаро-Вилюйская              | 1                   | 1                   |
| 6     | Таймырско-Североземельская     | 34                  | 31                  |
| 7     | Алдано-Забайкальская           | 42                  | 33                  |
| 8     | Верхояно-Колымская             | 75                  | 57                  |
| 9     | Чукотская                      | 23                  | 16                  |
| 10    | Охотоморская                   | 27                  | 23                  |
| 11    | Дальневосточная                | 66                  | 54                  |
| 12    | Корякско-Курильская            | 13                  | 11                  |
| Итого |                                | 317                 | 255                 |

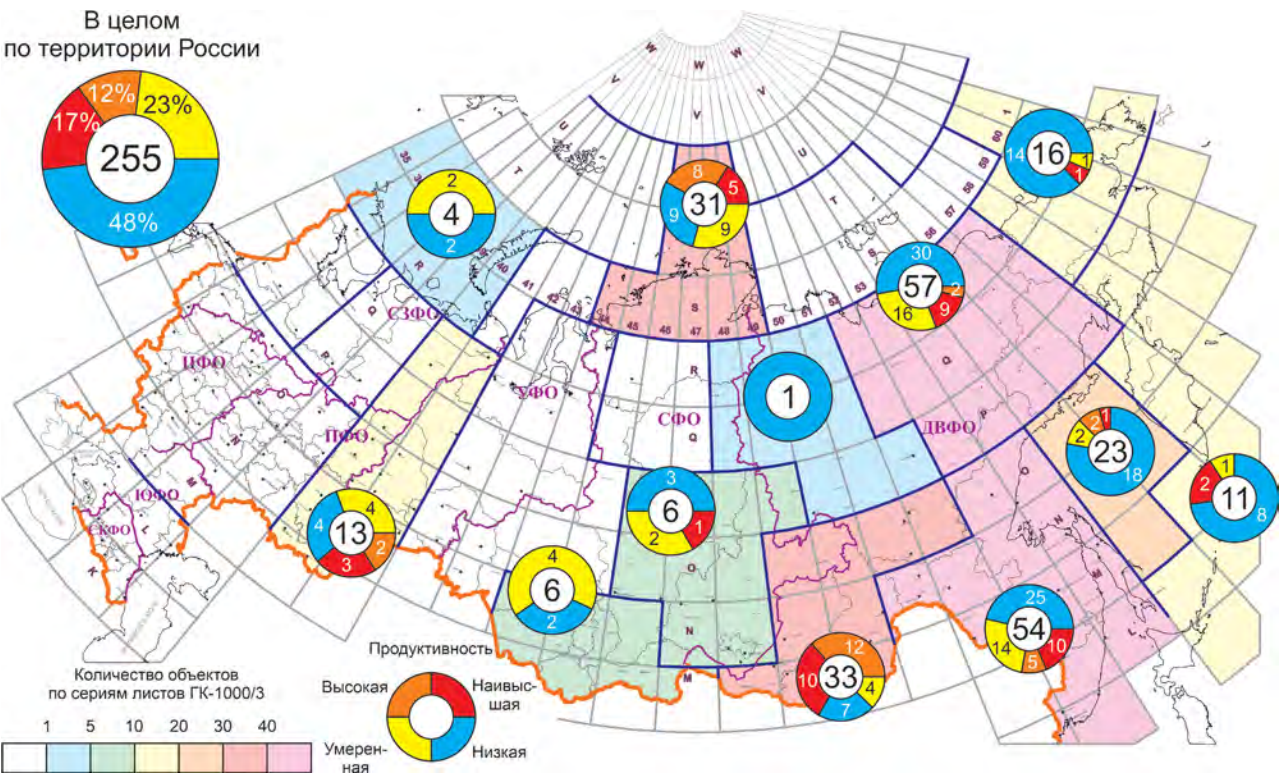


Рис. 6. Распределение продуктивности на порфировое оруденение изученных объектов по сериям листов ГК-1000/3

Fig. 6. Porphyry mineralization fertility distribution, the studied objects from sheet series of the State Geological Map of the Russian Federation, scale 1 : 1,000,000 (third generation)

Таблица 6

Распределение 317 изученных образцов гранитоидов по возрасту  
(по данным изучения акцессорных цирконов U-Pb SIMS методом в ЦИИ ФГБУ «Институт Карпинского»)

Table 6. Age distribution of 317 studied granitoid samples (from the data on accessory zircons with the U-Pb SIMS method in the Centre of Isotopic Research)

| Эра                 | Период/отдел    |               | Количество образцов |     |
|---------------------|-----------------|---------------|---------------------|-----|
| Кайнозойская        | Четвертичный    |               | 4                   | 9   |
|                     | Неогеновый      |               | 2                   |     |
|                     | Палеогеновый    |               | 3                   |     |
| Мезозойская         | Меловой         | Верхний отдел | 111                 | 246 |
|                     |                 | Нижний отдел  | 74                  |     |
|                     | Юрский          |               | 39                  |     |
|                     | Триасовый       |               | 22                  |     |
| Палеозойская        | Пермский        |               | 16                  | 56  |
|                     | Каменноугольный |               | 11                  |     |
|                     | Девонский       |               | 14                  |     |
|                     | Силурийский     |               | 3                   |     |
|                     | Ордовикский     |               | 6                   |     |
|                     | Кембрийский     |               | 6                   |     |
| Неопротерозойская   |                 |               | 1                   | 6   |
| Мезопротерозойская  |                 |               | 1                   |     |
| Палеопротерозойская |                 |               | —                   |     |
| Неоархейская        |                 |               | 4                   |     |
| Итого               |                 |               | 317                 |     |

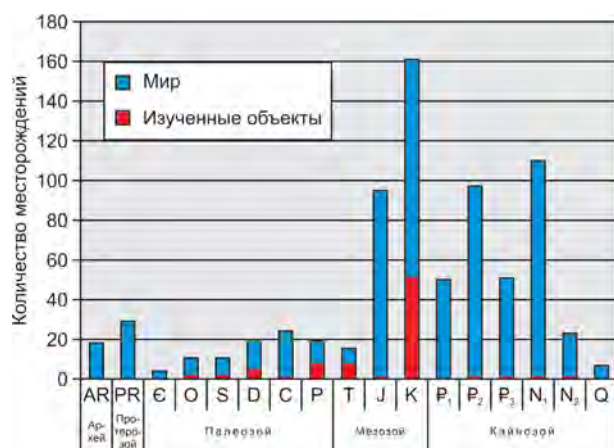


Рис. 7. Распределение по возрасту 74 изученных объектов с наивысшей и высокой продуктивностью на диаграмме: возраст магматической породы vrs. количество порфировых месторождений, предложенной В. Д. Синклером на основе обработки материалов по более чем 750 порфировым месторождениям мира

Источник: составлено автором В. В. Шатовым на основе [4]

Fig. 7. Age distribution of 74 studied objects with the highest and high productivity. The diagram displays V. D. Sinclair's data on more than 750 porphyry deposits of the world: igneous rock age vs number of porphyry deposits

Source: adapted by the author V. V. Shatov from [4]

Таблица 7

**Перечень объектов магматических комплексов или массивов, показавших наивысшую перспективность на порфировое оруденение по данным изучения PIZs (без учета изученных порфировых месторождений)**

Table 7. List of igneous complexes or massifs with the highest prospects for porphyry mineralization (from the PIZs data, excluding the studied porphyry deposits)

| № п/п | Интрузивный комплекс, массив, фаза внедрения        | Серия листов ГК-1000/3 | Возраст, млн лет | Номенклатура    |
|-------|-----------------------------------------------------|------------------------|------------------|-----------------|
| 1     | Жипхошинский комплекс                               | Алдано-Забайкальская   | 403,3 ± 2,7      | M-50-I          |
| 2     | Алданский комплекс, Эвотинский массив               |                        | 113,7 ± 1,0      | O-51-XXIII-XXIV |
| 3     | Алданский комплекс, Чайдахский массив               |                        | 120,0 ± 1,0      | O-52-XXVI       |
| 4     | Алданский комплекс, Билибинский массив              |                        | 116,8 ± 1,1      | O-52-XXVI       |
| 5     | Витимканский комплекс                               |                        | 295,0 ± 2,0      | N-49-XXXI       |
| 6     | Участок Яук-2, южная часть массива                  |                        | 86,8 ± 0,8       | M-49-III        |
| 7     | Участок Удунин-3                                    |                        | 94,9 ± 0,5       | M-48-IX         |
| 8     | Участок Удунин-4                                    |                        | 94,7 ± 0,5       | M-48-IX         |
| 9     | Урикский комплекс, массив Ара-Сайлаг                | Ангара-Енисейская      | 478,0 ± 3,0      | N-47-XXVIII     |
| 10    | Белоночинская площадь, Начальный участок            |                        | 416,3 ± 4,4      | Q-56-XXXIII     |
| 11    | Белоночинская площадь, массив Сурунтах              |                        | 86,3 ± 1,3       | Q-56-XXXIV      |
| 12    | Намындыканский комплекс, участок Айнэнэ             |                        | 137,2 ± 1,1      | Q-57-XXVII      |
| 13    | Рассошинский массив                                 | Верхояно-Колымская     | 166,8 ± 2,1      | Q-55-XXIX-XXX   |
| 14    | Наяханский комплекс, массив Нарзан, 1-я фаза        |                        | 85,3 ± 0,8       | P-56-V-VI       |
| 15    | Наяханский комплекс, массив Кобзарь, 2-я фаза       |                        | 84,8 ± 1,1       |                 |
| 16    | Ульбейский комплекс, Шахский массив                 |                        | 107,6 ± 1,3      | P-54-XXXVI      |
| 17    | Нижнеамурский комплекс, массив Гион                 | Дальневосточная        | 76,7 ± 0,7       | M-53-94         |
| 18    | Рязановский комплекс, Гродековский батолит          |                        | 260,1 ± 4,9      | L-52-XXX        |
| 19    | Первомайский РУ, рязановский комплекс               |                        | 260,0 ± 7,5      |                 |
| 20    | Ульбанский комплекс, Хавинский массив               |                        | 80,8 ± 0,5       | N-54-XXV        |
| 21    | Нижнеамурский комплекс, Покровский массив, 2-я фаза |                        | 86,8 ± 0,7       | N-54-XXXI       |
| 22    | Нижнеамурский комплекс, Янский массив, 2-я фаза     |                        | 79,5 ± 0,7       | N-54-XXXI       |



| № п/п | Интрузивный комплекс, массив, фаза внедрения         | Серия листов ГК-1000/3     | Возраст, млн лет | Номенклатура     |
|-------|------------------------------------------------------|----------------------------|------------------|------------------|
| 23    | Нижнеамурский комплекс, массив Огнедо, 3-я фаза      | Дальневосточная            | 76,4 ± 0,6       | N-54-XXXI        |
| 24    | Нижнеамурский комплекс, Балахойский массив, 2-я фаза |                            | 76,3 ± 1,2       | N-54-XXXI        |
| 25    | Пылгинский комплекс                                  | Корякско-Курильская        | 29,27 ± 0,48     | P-59-XXII        |
| 26    | Парамуширский комплекс, Прозраченский массив         |                            | 5,24 ± 0,14      | M-56-XVIII       |
| 27    | Магаданский комплекс, Малойринский массив            | Охотоморская               | 100,0 ± 1,0      | O-55-IV          |
| 28    | Широкинский массив                                   |                            | 226,0 ± 2,0      | T-48-XXXI–XXXIII |
| 29    | Оленьинский комплекс                                 | Таймырско-Североземельская | 248,8 ± 3,3      | S-47-I-II        |
| 30    | Пекинский комплекс, массив Порфиновый                |                            | 240,0 ± 1,0      |                  |
| 31    | Пекинский комплекс, р. Пека                          |                            | 242,2 ± 2,0      | T-48-XXVII-XXIX  |
| 32    | Верхнетарейский комплекс                             |                            | 233,0 ± 1,0      | S-46-XV-XVI      |

Таблица 8

**Категории объектов, показавших *наивысшую* и *высокую* перспективность на порфировое оруденение по данным изучения PIZs**Table 8. Object categories with the *highest* and *high* prospects for porphyry mineralization (from the PIZs data)

| № п/п | Категория перспективных объектов (ПО)                                                                                                                                  | Количество | Название ПО                                                                                                                                                                                 | Предлагаемые виды ГРП                                                                            |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Нелицензированные и поставленные на учет                                                                                                                               | 6          | Медьгорский РУ, Каменный ПРУ, Хавинский ПРУ, Первомайский РУ, Гионская ПП, Мотыклейский РУ                                                                                                  | ГМК-50 и работы поисковой стадии на локализованных участках                                      |
| 2     | Лицензированные и поставленные на учет                                                                                                                                 | 11         | Билибинская, Чайдахская и Сеймджакская ПП, Широкинский ПРУ, Урадан-Рассошинский ПРУ, Верхнетарейский ПРУ, Кристифенсенский ПРУ, Покровско-Троицкий РРУ, Янская и Балахойская ПП, ПРП Огнедо | Работы поисковой стадии на локализованных участках по договорам с компаниями-недропользователями |
| 3     | Лицензированные и не поставленные на учет                                                                                                                              | 10         | Эвотинский ПРУ, Витимканский ПРУ, Участок Яук-2, Участок Удунин-3 и -4, Оленьинский ПРУ, Пекинский ПРУ, Порфиновый ПРУ, Убойнинский ПРУ, Прозраченская ПП                                   |                                                                                                  |
| 4     | Нелицензированные и для которых наивысшая оценка их продуктивности на порфировое оруденение по данным PIZs оказалась недостаточной для постановки паспортов ПО на учет | 8          | Васильевский ПРУ, Айненэнский ПРУ, Шахский ПРУ, ПРП Нарзан и Кобзарь, Пылгинская ПП, Ара-Сайлагская ПП, Сурунтахская ПП                                                                     | Ревизионно-заверочные работы                                                                     |
| 5     | Нелицензированные и для которых Паспорта учета ПО находятся в стадии подготовки                                                                                        | 1          | Лучистый ПРУ, Начальное-2 ПРП                                                                                                                                                               | ГМК-50 и работы поисковой стадии на локализованных участках                                      |

ПРУ, Первомайскому РУ, Гионской перспективной площади (далее — ПП) и Мотыклейскому РУ. В пределах этих перспективных объектов необходима постановка ГМК масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000 и крупнее), включающего комплекс современных геофизических, литогеохимических и дистанционных методов, а также петрографо-геохимическое изучение и картирование гидротермально-измененных пород, нацеленных на выделение в пределах определившихся площадей более локальных участков под проведение геологоразведочных работ поисковой стадии.

По Васильевскому РУ и Айненэнскому ПРУ подготовленные Паспорта учета ПО были отклонены из-за недостаточной изученности этих ПО. Оказалось, что *наивысшую оценку их продуктивности на порфировое оруденение по данным PIZs* можно рассматривать только в качестве необходимого, но недостаточного признака прогнозирования порфирового оруденения. Здесь наряду с данными по PIZs также желательно использовать и другие поисковые признаки, такие как геохимические, геофизические, дистанционные, минералого-петрографические, гидротермально-метасоматические, структурно-тектонические и т. д.

Для окончательного решения вопроса о перспективности этих недоизученных в геологическом отношении ПО на порфировое оруденение необходима постановка в их пределах *внемасштабных ревизионно-заверочных работ*, предусматривающих сбор дополнительного каменного материала на участках гидротермально-измененных и минерализованных пород с целью проведения дополнительных лабораторных исследований. Близкая ситуация сложилась также для Шахского потенциально рудного поля и потенциальных рудных полей Нарзан и Кобзарь.

Полученные результаты исследований позволили из более чем 200 выявленных перспективных участков недр обосновать по изотопно-геохимическим признакам 15 высокоперспективных площадей на золото-медно-порфировое оруденение, что, как ожидается, привлечет внимание потенциальных инвесторов и будет способствовать развитию заявительного принципа лицензирования в нашей стране.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе изучения закономерностей распределения элементов-примесей (REE+Y, Ti, Hf, U, Th, Pb) в цирконах гранитоидов установлено, что рудовмещающие магматические породы таких известных порфировых месторождений России, как Малмыж, Песчанка, Михеевское, Томинское, Медьгорское, Рябиновое, Морозкинское, Самолазовское и Тарутинское показали, 100-процентное совпадение с референтными значениями PIZs: 1) Ce/Nd; 2) Eu/Eu\*; 3) (Ce/Nd)/Y; 4) Dy/Yb; 5) (10000x(Eu/Eu\*)/Y); 6) Th/U и 7)  $T^{\circ}\text{C}$  (*Ti-in-zircon thermometer*), предложенными Х. Пизарро с соавторами [29] по материалам

обработки большого фактического материала по ведущим порфировым месторождениям мира.

2. За весь период исследований на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-IIe было изучено 317 образцов, принадлежащих 255 объектам исследования. Это либо интрузивные комплексы, либо отдельные гранитоидные массивы (или их отдельные фазы внедрения), перспективные на порфировое оруденение. Основным объемом изученных объектов и положительных результатов по ним пришелся на серии листов ГК-1000/3, принадлежащих восточным регионам России: Верхне-Колымской, Дальневосточной, Охотоморской и Алдано-Забайкальской сериям листов, где и сосредоточены основные перспективные объекты на золото-медно-порфировое оруденение.

3. Почти половина (48 %) из изученных комплексов гранитоидов показала отрицательный результат по данным PIZs. Около одной трети (35 %) приходится на высокую и умеренную продуктивность. Тогда как наивысшей степени продуктивности соответствуют только 17 % из общего числа изученных объектов. Однако, если из этого количества исключить девять гранитоидных комплексов, изученных при тестировании методики в пределах конкретных порфировых месторождений России, перечисленных выше, то наивысшая степень продуктивности останется только у 33 объектов из 255 изученных, что соответствует 13 %. То есть можно сделать вывод, что только каждый **восемой** из изученных объектов на территории России показал максимальную степень продуктивности на порфировое оруденение.

По мнению авторов статьи, особенности состава элементов-примесей в аксессуарных цирконах гранитоидов не могут напрямую указывать на наличие или отсутствие порфирового оруденения. При проведении разномасштабных прогнозно-минералогических исследований по данным PIZs можно осуществлять только разбраковку разновозрастных гранитоидных комплексов на потенциально рудносные и «безрудные», что должно способствовать локализации перспективных участков недр.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Медно-порфировые месторождения. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов / А. И. Кривцов [и др.]. М. : Изд-во ЦНИГРИ, 2001. 232 с.
2. Porphyry copper deposit model / D. A. John [et al.] // Scientific Investigations Report 2010-5070-B, U. S. Geological Survey: Reston, Virginia, 2010. 169 p.
3. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems // Economic Geology. 2010. Vol. 105, no. 1. P. 3–41. <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3>
4. Sinclair W. D. Porphyry deposits // Mineral deposits of Canada: Geological Association of Canada Special Publication 5. 2007. P. 223–243.
5. Медно-порфировое месторождение Песчанка / И. Ф. Мигачев [и др.] // Руды и металлы. 1995. № 3. С. 48–58.
6. Porphyry-epithermal Cu-Mo-Au-Ag mineralization in the Nakhodka ore field, Baimka Trend, Chukotka, Russia: a geological, mineralogical, and geochemical perspective /

- A. F. Chitalin [et al.] // *Mineralium Deposita*. 2023. Vol. 58. P. 287–306. <https://doi.org/10.1007/s00126-022-01122-2>.
7. The superlarge Malmyzh porphyry Cu-Au deposit, Sikhote-Alin, eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics / S. G. Soloviev [et al.] // *Ore Geology Reviews*. 2019. Vol. 113. P. 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103112>.
8. Yakubchuk A. S. Porphyry deposits of Northern Eurasia: Practical aspects of tectonic control, structural features and estimates of depth of erosion from the Urals to the Pacific // *Geology of Ore Deposits*. 2024. Vol. 66, no. 1. P. 3–20. <https://doi.org/10.1134/S1075701524010094>.
9. Карта закономерностей размещения золото-медно-порфировых месторождений России масштаба 1 : 2 500 000 (на основе обобщения результатов работ по составлению комплектов государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения) / О. В. Петров [и др.] // *Региональная геология и металлогения*. 20206. № 84. С. 5–24.
10. Выявление новых объектов, перспективных на молибден-медно-порфировое оруденение при создании Госгеолкарты-1000/3 на примере листов О-55, О-56 (Северное Приохотье, Магаданская область) / А. А. Аленичева [и др.] // *Руды и металлы*. 2024. № 2. С. 5–27. <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2024-10006>.
11. Использование состава циркона и апатита при прогнозировании Cu-Mo-Au-порфирового оруденения в Пекинском и Тесемском массивах Таймыро-Североземельской складчатой области / С. В. Берзин [и др.] // *Литосфера*. 2024. Т. 24, № 3. С. 547–565. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2024-24-3-547-565>.
12. Геохимия цирконов анатектической и диатектической стадий формирования мигматитов Северо-Западного Приладожья / В. А. Глебовицкий [и др.] // *Докл. РАН*. 2008. Т. 420, № 6. С. 813–817.
13. Светлицкая Т. В., Неволько П. А. Оценка перспектив Култуминского месторождения на порфировое оруденение на основе анализа геохимических характеристик цирконов (Восточное Забайкалье, Россия) // *Разведка и охрана недр*. 2023. № 3. С. 11–19.
14. Распределение редкоземельных и редких элементов в цирконах из миаскитовых лампроитов Панозерского комплекса Центральной Карелии / С. Г. Скублов [и др.] // *Геохимия*. 2009. № 9. С. 958–971.
15. Федотова А. А., Бибикова Е. В., Симакин С. Г. Геохимия циркона (данные ионного микрозонда) как индикатор генезиса минерала при геохронологических исследованиях // *Геохимия*. 2008. № 9. С. 980–997.
16. Ballard J. R., Palin M. J., Campbell I. H. Relative oxidation states of magmas inferred from Ce (IV)/Ce (III) in zircon: Application to porphyry copper deposits of northern Chile // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2002. Vol. 144, no. 3. P. 347–364. <https://doi.org/10.1007/s00410-002-0402-5>.
17. Burnham A. D., Berry A. J. An experimental study of trace element partitioning between zircon and melt as a function of oxygen fugacity // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2012. Vol. 95. P. 196–212. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.07.034>.
18. Carrasco-Godoy C., Campbell I. H., Cajal Y. Quantifying the criteria used to identify zircons from ore-bearing and barren systems in porphyry copper exploration // *Econ. Geology*. 2024. Vol. 119. P. 1035–1058. <https://doi.org/10.5382/econgeo.5086>.
19. Ti-in-zircon thermometry: Applications and limitations / B. Fu [et al.] // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2008. Vol. 156. P. 197–215. <https://doi.org/10.1007/s00410-008-0281-5>.
20. Loader M. A., Wilkinson J. J., Armstrong R. N. The effect of titanite crystallisation on Eu and Ce anomalies in zircon and its implications for the assessment of porphyry Cu deposit fertility // *Earth and Planetary Science Letters*. 2017. Vol. 472. P. 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.05.010>.
21. Loucks R. R., Fiorentini M. L., Henri'quez G. J. New magmatic oxybarometer using trace elements in zircon // *Journal of Petrology*. 2020. Vol. 61, no. 3. P. 1–30. <https://doi.org/10.1093/petrology/egaa034>.
22. Zircon compositions as a pathfinder for porphyry Cu  $\pm$  Mo  $\pm$  Au Deposits / Y-J. Lu [et al.] // *Society Econ. Geology Special Publication*. 2016. No. 19. P. 329–347. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22790.1696>.
23. Uranium-Pb zircon ages, whole-rock and zircon mineral geochemistry as indicators for magmatic fertility and porphyry Cu-Mo-Au mineralization at the Bystrinsky and Shaktama deposits, Eastern Transbaikalia, Russia / P. A. Nevolko [et al.] // *Ore Geology Reviews*. 2021. Vol. 139, no. B. P. 104532. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104532>.
24. Porphyry indicator zircons and geochronology of magmatic rocks from the Malmyzh and Pony Cu-Au porphyry ore fields (Russian Far East) / O. V. Petrov [et al.] // *Ore Geology Reviews*. 2021. Vol. 139. P. 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104491>.
25. Revealing prospects of new gold-copper-porphyry deposits of the Malmyzh type in the Lower-Amur Region (Russian Far East) / O. V. Petrov [et al.] // *Geology of Ore Deposits*. 2023. Vol. 65, no. 1. P. S85–S123. <https://doi.org/10.1134/S107570152307019X>.
26. Richards J. P., Kerrich R. Adakite-like rocks: Their diverse origins and questionable role in metallogenesis // *Economic Geology*. 2007. Vol. 102. P. 537–576. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.102.4.537>.
27. Svetlitskaya T. V., Nevolko P. A. New whole-rock skarn and porphyry fertility indicators: Insights from Cu-Au-Fe skarn and Cu-Mo-Au porphyry deposits in Eastern Transbaikalia, Russia // *Ore Geology Reviews*. 2022. Vol. 149. P. 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105108>.
28. Watson E. B., Wark D. A., Thomas J. B. Crystallization thermometers for zircon and rutile // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2006. Vol. 151. P. 413–433. <https://doi.org/10.1007/s00410-006-0068-5>.
29. Porphyry indicator zircons (PIZs): Application to exploration of porphyry copper deposits / H. Pizarro [et al.] // *Ore Geology Reviews*. 2020. Vol. 126. P. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103771>.
30. Hoskin P. W. O. Minor and trace element analysis of natural zircon (ZrSiO<sub>4</sub>) by SIMS and laser ablation ICP-MS: A consideration and comparison of two broadly competitive techniques // *Journal of Trace and Microprobe Techniques*. 1998. Vol. 16, no. 3. P. 301–326. <https://doi.org/10.1007/BF02719033>.
31. Further characterization of the 91500 zircon crystal / M. Wiedenbeck [et al.] // *Geostandards Newsletter*. 2004. Vol. 28. P. 9–39. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2004.tb01041.x>.
32. Williams I. S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe // *Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes* / [Eds.] M. A. McKibben, W. C. Shanks III and W. I. Ridley). *Rev. Econ. Geol.* 1998. Vol. 7. P. 1–35.

## REFERENCES

1. Copper-porphyry deposits. Series: Models of precious and base metal deposits / A. I. Krivtsov [et al.]. Moscow: TSNIIGRI; 2001. 232 p. (In Russ.).
2. Porphyry copper deposit model / D. A. John [et al.]. *Scientific Investigations Report 2010-5070-B*, U. S. Geological Survey: Reston, Virginia; 2010. 169 p. (In Russ.).
3. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems. *Economic Geology*. 2010; 105 (1): 3–41. <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3>
4. Sinclair W. D. Porphyry deposits. *Mineral deposits of Canada: Geological Association of Canada Special Publication 5*. 2007. P. 223–243. (In Russ.).
5. Migachev I. F., Girfanov M. M., Shishakov V. B. Copper-porphyry deposit of Peschanka. *Ores and metals*. 1995; (3): 48–58 (In Russ.).



6. Porphyry-epithermal Cu-Mo-Au-Ag mineralization in the Nakhodka ore field, Baimka Trend, Chukotka, Russia: a geological, mineralogical, and geochemical perspective / A. F. Chitalin [et al.]. *Mineralium Deposita*. 2023; 58: 287–306. <https://doi.org/10.1007/s00126-022-01122-2>.
7. The superlarge Malmyzh porphyry Cu-Au deposit, Sikhote-Alin, eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics / S. G. Soloviev [et al.]. *Ore Geology Reviews*. 2019; 113: 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103112>.
8. Yakubchuk A. S. Porphyry deposits of Northern Eurasia: Practical aspects of tectonic control, structural features and estimates of depth of erosion from the Urals to the Pacific. *Geology of Ore Deposits*. 2024; 66 (1): 3–20. <https://doi.org/10.1134/S1075701524010094>.
9. Map of distribution patterns of copper-gold-porphyry deposits of the Russian territory at 1 : 2 500 000 scale (based on synthetics results of state geological mapping at 1M scale of 3rd generation) / O. V. Petrov [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2020; (84): 5–24. (In Russ.)
10. Identification of new objects promising for porphyry molybdenum-copper mineralization when creating the State geological map 1000/3: Sheets O-55, O-56 (Northern Priokhotye, Magadan region) as an example / A. A. Alenicheva [et al.]. *Ores and metals*. 2024; (2): 5–27. <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2024-10006>. (In Russ.)
11. Utilizing compositions of zircon and apatite for prospecting of Cu-Mo-Au porphyry mineralization in the Pekinsky and Tessemysky granitoid massifs of the Taimyr-Severozemelskaya folded area / S. V. Berzin [et al.]. *Lithosphere*. 2024; 24 (3): 547–565. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2024-24-3-547-565>. (In Russ.)
12. Zircon geochemistry of anatexic and diatexis stages migmatite formation (NW Ladoga Region) / Glebovitsky V. A. [et al.]. *Dokl. RAN*. 2008; 420 (6): 813–817. (In Russ.)
13. Svetlitskaya T. V., Nevolko P. A. Porphyry potential of the Kultuma deposit based on zircon trace element compositions (Eastern Transbaikalia, Russia). *Razvedka i okhrana nedr*. 2023; (3): 11–19. (In Russ.)
14. Rare earth and trace elements distribution in zircons from miaskite lamproites of the Panozero Complex, Central Karelia / S. G. Skublov [et al.]. *Geokhimiya*. 2009; (9): 958–971. (In Russ.)
15. Fedotova A. A., Bibikova E. V., Simakin S. G. Zircon microprobe geochemistry as an indicator of mineral genesis in geochronological investigations. *Geokhimiya*. 2008; (9): 980–997. (In Russ.)
16. Ballard J. R., Palin M. J., Campbell I. H. Relative oxidation states of magmas inferred from Ce (IV)/Ce (III) in zircon: Application to porphyry copper deposits of northern Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2002; 144 (3): 347–364. <https://doi.org/10.1007/s00410-002-0402-5>.
17. Burnham A. D., Berry A. J. An experimental study of trace element partitioning between zircon and melt as a function of oxygen fugacity. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2012; 95: 196–212. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.07.034>.
18. Carrasco-Godoy C., Campbell I. H., Cajal Y. Quantifying the criteria used to identify zircons from ore-bearing and barren systems in porphyry copper exploration. *Econ. Geology*. 2024; 119: 1035–1058. <https://doi.org/10.5382/econ-geo.5086.19>.
19. Ti-in-zircon thermometry: Applications and limitations / B. Fu [et al.]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2008; 156: 197–215. <https://doi.org/10.1007/s00410-008-0281-5>.
20. Loader M. A., Wilkinson J. J., Armstrong R. N. The effect of titanite crystallisation on Eu and Ce anomalies in zircon and its implications for the assessment of porphyry Cu deposit fertility. *Earth and Planetary Science Letters*. 2017; 472: 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.05.010>.
21. Loucks R. R., Fiorentini M. L., Henriques G. J. New magmatic oxybarometer using trace elements in zircon. *Journal of Petrology*. 2020; 61 (3): 1–30. <https://doi.org/10.1093/petrology/egaa034>.
22. Zircon compositions as a pathfinder for porphyry Cu  $\pm$  Mo  $\pm$  Au Deposits / Y.-J. Lu [et al.]. *Society Econ. Geology Special Publication*. 2016; (19): 329–347. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22790.1696>.
23. Uranium-Pb zircon ages, whole-rock and zircon mineral geochemistry as indicators for magmatic fertility and porphyry Cu-Mo-Au mineralization at the Bystrinsky and Shakhtama deposits, Eastern Transbaikalia, Russia / P. A. Nevolko [et al.]. *Ore Geology Reviews*. 2021; 139 (B): 104532, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104532>.
24. Porphyry indicator zircons and geochronology of magmatic rocks from the Malmyzh and Pony Cu-Au porphyry ore fields (Russian Far East) / O. V. Petrov [et al.]. *Ore Geology Reviews*. 2021; 139: 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104491>.
25. Revealing prospects of new gold-copper-porphyry deposits of the Malmyzh type in the Lower-Amur Region (Russian Far East) / O. V. Petrov [et al.]. *Geology of Ore Deposits*. 2023; 65 (1): S85–S123. <https://doi.org/10.1134/S107570152307019X>.
26. Richards J. P., Kerrich R. Adakite-like rocks: Their diverse origins and questionable role in metallogenesis. *Economic Geology*. 2007; 102: 537–576. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.102.4.537>.
27. Svetlitskaya T. V., Nevolko P. A. New whole-rock skarn and porphyry fertility indicators: Insights from Cu-Au-Fe skarn and Cu-Mo-Au porphyry deposits in Eastern Transbaikalia, Russia. *Ore Geology Reviews*. 2022; 149: 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105108>.
28. Watson E. B., Wark D. A., Thomas J. B. Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2006; 151: 413–433. <https://doi.org/10.1007/s00410-006-0068-5>.
29. Porphyry indicator zircons (PIZs): Application to exploration of porphyry copper deposits / H. Pizarro [et al.]. *Ore Geology Reviews*. 2020; 126: 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103771>.
30. Hoskin P. W. O. Minor and trace element analysis of natural zircon (ZrSiO<sub>4</sub>) by SIMS and laser ablation ICP-MS: A consideration and comparison of two broadly competitive techniques. *Journal of Trace and Microprobe Techniques*. 1998; 16 (3): 301–326. <https://doi.org/10.1007/BF02719033>.
31. Further characterization of the 91500 zircon crystal / M. Wiedenbeck [et al.]. *Geostandards Newsletter*. 2004; 28: 9–39. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2004.tb01041.x>.
32. Williams I. S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe // Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes / [Eds.] M. A. McKibben, W. C. Shanks III and W. I. Ridley). *Rev. Econ. Geol.* 1998; 7: 1–35.

## Виталий Витальевич Шатов

Кандидат геолого-минералогических наук,  
директор Центра прогнозно-металлогенических  
исследований

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-6096-8871>  
Scopus Author ID 6602617938  
РИНЦ Author ID 98687  
SPIN-код РИНЦ 8786-7881  
vitaly\_shatov@karpinskyinstitute.ru

## Максим Александрович Ткаченко

Кандидат геолого-минералогических наук,  
первый заместитель генерального директора

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-1524-617X>  
ResearcherID P-9333-2017  
SPIN-код РИНЦ 8128-5490  
maksim\_tkachenko@karpinskyinstitute.ru

## Татьяна Николаевна Зубова

Заместитель генерального директора  
по геологоразведочным работам

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0004-2188-4017>  
SPIN-код РИНЦ 7260-4280  
tatiana\_zubova@karpinskyinstitute.ru

## Сергей Семенович Шевченко

Заместитель генерального директора —  
руководитель лабораторно-аналитической службой

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0000-3039-4133>  
sergey\_shevchenko@karpinskyinstitute.ru

## Василий Иванович Леонтьев

Заместитель директора  
Центра прогнозно-металлогенических исследований

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-7183-4772>  
Scopus Author ID 57195316170  
ResearcherID P-3351-2017  
SPIN-код РИНЦ 4563-2326  
vasily\_leontiev@karpinskyinstitute.ru

## Vitaly V. Shatov

PhD (Geology and Mineralogy),  
Head, Centre of Predictive Metallogenic Studies

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-6096-8871>  
Scopus Author ID 6602617938  
RSCI Author ID ID 98687  
RSCI SPIN-code 8786-7881  
vitaly\_shatov@karpinskyinstitute.ru

## Maksim A. Tkachenko

PhD (Geology and Mineralogy),  
First Deputy Director General

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-1524-617X>  
ResearcherID P-9333-2017  
RSCI SPIN-code 8128-5490  
maksim\_tkachenko@karpinskyinstitute.ru

## Tatiana N. Zubova

Deputy Director General  
in geological exploration

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0004-2188-4017>  
RSCI SPIN-code 7260-4280  
tatiana\_zubova@karpinskyinstitute.ru

## Sergey S. Shevchenko

Deputy Director General —  
Head of Laboratory and Analytical Service

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0000-3039-4133>  
sergey\_shevchenko@karpinskyinstitute.ru

## Vasilii I. Leontev

Deputy Head,  
Centre of Predictive Metallogenic Studies

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-7183-4772>  
Scopus Author ID 57195316170  
ResearcherID P-3351-2017  
RSCI SPIN-code 4563-2326  
vasily\_leontiev@karpinskyinstitute.ru

## **Борис Владимирович Беляцкий**

Ведущий инженер Центра изотопных исследований

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-4022-9366>

Scopus Author ID 8977408200

ResearcherID V-6644-2019

SPIN-код РИНЦ 6163-0820

bbelyatsky@mail.ru

## **Николай Викторович Родионов**

Кандидат физико-математических наук,  
заведующий масс-спектрометрическим  
сектором Центра изотопных исследований

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-5201-1922>

Scopus Author ID 12789575500

ResearcherID T-8826-2017

SPIN-код РИНЦ 6500-4125

nickolay\_rodionov@karpinskyinstitute.ru

## **Сергей Андреевич Сергеев**

Кандидат геолого-минералогических наук,  
директор Центра изотопных исследований

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-8460-8715>

Scopus Author ID 35467278500

ResearcherID N-4385-2013

SPIN-код РИНЦ 6353-0561

sergey\_sergeev@karpinskyinstitute.ru

## **Алексей Всеволодович Тарасов**

Заместитель начальника Управления геологических основ,  
науки и информатики

Федеральное агентство по недропользованию,  
Москва, Россия

<https://orcid.org/0009-0002-1826-0655>

atarasov@rosnedra.gov.ru

## **Сергей Иванович Трушин**

Заместитель генерального директора

АО «Полиметалл», Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0002-7422-9396>

strushin@polymetal.ru

## **Boris V. Belyatsky**

Leading Engineer, Centre of Isotopic Research

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-4022-9366>

Scopus Author ID 8977408200

ResearcherID V-6644-2019

RSCI SPIN-code 6163-0820

bbelyatsky@mail.ru

## **Nikolay V. Rodionov**

PhD (Physics and Mathematics),  
Head, Sector of Mass-Spectrometric Analysis,  
Centre of Isotopic Research

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-5201-1922>

Scopus Author ID 12789575500

ResearcherID T-8826-2017

RSCI SPIN-code 6500-4125

nickolay\_rodionov@karpinskyinstitute.ru

## **Sergey A. Sergeev**

PhD (Geology and Mineralogy),  
Head, Centre of Isotopic Research

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-8460-8715>

Scopus Author ID 35467278500

ResearcherID N-4385-2013

RSCI SPIN-code 6353-0561

sergey\_sergeev@karpinskyinstitute.ru

## **Aleksey V. Tarasov**

Deputy Head, Management of Geological Bases,  
Science, and Information Technology

Federal Subsoil Resources Management Agency,  
Moscow, Russia

<https://orcid.org/0009-0002-1826-0655>

atarasov@rosnedra.gov.ru

## **Sergey I. Trushin**

Deputy Director General

Polymetal, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0002-7422-9396>

strushin@polymetal.ru



## Александр Владимирович Козлов

Доктор геолого-минералогических наук,  
доцент, заведующий кафедрой геологии  
и разведки месторождений полезных ископаемых

Санкт-Петербургский горный университет императрицы  
Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/000-0002-8759-4088>  
Scopus Author ID 10042352300  
ResearcherID AAC-8847-2020  
SPIN-код РИНЦ 2298-4976  
akozlov@spmi.ru

## Aleksandr V. Kozlov

DSc (Geology and Mineralogy),  
Associate Professor, Head, Department of Geology  
and Exploration of Mineral Deposits

Saint-Petersburg Mining University,  
St. Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-8759-4088>  
Scopus Author ID 10042352300  
ResearcherID AAC-8847-2020  
RSCI SPIN-code 2298-4976  
akozlov@spmi.ru

---

**Вклад авторов:** *Шатов В. В.* — концепция исследования и написание исходного текста.  
*Ткаченко М. А., Зубова Т. Н., Леонтьев В. И., Тарасов А. В., Трушин С. И.* — концепция исследования.  
*Шевченко С. С., Беляцкий Б. В., Родионов Н. В., Сергеев С. А., Козлов А. В.* — развитие методологии.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** *Shatov V. V.* — research concept, writing the draft.  
*Tkachenko M. A., Zubova T. N., Leontev V. I., Tarasov A. V., Trushin S. I.* — research concept.  
*Shevchenko S. S., Belyatsky B. V., Rodionov N. V., Sergeev S. A., Kozlov A. V.* — methodology development.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 07.11.2024  
Одобрена после рецензирования 12.12.2024  
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 07.11.2024  
Approved after reviewing 12.12.2024  
Accepted for publication 28.12.2024

Научная статья

УДК 553.495'411(470.21/.22)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_147-164

**Золото-урановое оруденение  
Балтийского щита****Е. Н. Афанасьева<sup>1</sup>✉, Ю. Б. Миронов<sup>1</sup>,  
А. А. Петрова<sup>1</sup>, А. В. Козлов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт  
им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,  
Elena\_Afanasieva@karpinskyinstitute.ru✉

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** Авторами приведены сведения о структурно-вещественных особенностях и основных типах уранового и золото-уранового оруденения Балтийского щита. Рассмотрены особенности геологического строения, сведения о критериях и признаках оруденения, характеристика известных урановых, золото-урановых объектов, дана оценка прогнозных ресурсов. Особое внимание уделено характеристике гидротермально-метасоматических преобразований пород участка Озерный Куоляярвинского рудного узла, последовательности их проявления, а также стадийности образования рудной минерализации, составе золотой, урановой, сульфидной минерализации. Приведены данные о содержаниях золота и элементов спутников золота в рудоносных зонах рудопроявлений Озерное, Лагерное. Выполнен сравнительный анализ пространственно-временных закономерностей размещения золото-урановых объектов российской (рудопроявления Озерное, Лагерное, Алим-Курсуярви) и зарубежной частей Балтийского щита (месторождения Юомасуо, Конттиахо, Ромпас). Это дает основание для высокой оценки перспектив Куоляярвинского рудного узла на выявление золото-урановых месторождений. Приведены данные о возрасте рудовмещающих метасоматитов и урановой минерализации проявления Озерное, которые позволяют говорить о многостадийности формирования рудной минерализации. Предложены рекомендации по продолжению изучения раннепротерозойских структур, нацеленных на выявление масштабов золото-уранового оруденения и создание рудно-генетической модели его формирования.

**Ключевые слова:** Балтийский щит, золото, уран, проявления группы Ромпас, Пана-Куоляярвинский прогиб

**Благодарности:** авторы выражают благодарность рецензентам за анализ статьи и рекомендации по повышению ее качества.

**Для цитирования:** Золото-урановое оруденение Балтийского щита / Е. Н. Афанасьева [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 147–164. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_147-164](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_147-164)

Original article

UDC 553.495'411(470.21/.22)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_147-164

**Gold-Uranium mineralization  
in the Baltic Shield****E. N. Afanaseva<sup>1</sup>✉, Yu. B. Mironov<sup>1</sup>,  
A. A. Petrova<sup>1</sup>, A. V. Kozlov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia, elena\_afanasieva@karpinskyinstitute.ru✉

<sup>2</sup>Saint-Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia



© Е. Н. Афанасьева, Ю. Б. Миронов,  
А. А. Петрова, А. В. Козлов, 2024

**Abstract.** The authors provide information on the structural and material features, as well as the main types of uranium and gold-uranium mineralization of the Baltic Shield. The paper specifies the geological composition, informs about the criteria and signs of mineralization, characterizes well-known gold-uranium objects, and assesses the predicted resources. The focus is on characteristics of hydrothermal-metasomatic transformations of the Ozerny site rocks in the Kuolajarvi ore cluster, their manifestation sequence, as well as the ore mineralization formation stages, composition of gold, uranium, and sulfide mineralization. There are data on the content of gold and elements of gold satellites in the ore-bearing zones of the Ozernoye and Lagernoye ore occurrences. The comparative analysis covers spatiotemporal patterns of the gold-uranium ore objects distribution in the Russian (Ozernoye, Lagernoye, Alim-Kursujarvi ore occurrences) and foreign parts of the Baltic Shield (Juomasuo, Konttiahio, Rompas deposits). This highly evaluates prospects of the Kuolajarvi ore cluster for identifying gold-uranium deposits. The data on the age of the ore-hosting metasomatic rocks and uranium mineralization of the Ozernoye occurrence evidence the multi-stage formation of the ore mineralization. It is recommended to continue studying the Early Proterozoic structures in order to identify the scale of gold-uranium mineralization and create an ore-genetic model of its formation.

**Keywords:** *Baltic Shield, gold, uranium, occurrences of the Rompas Group, Kuola-Panajarvi trough*

**Acknowledgments:** we are grateful to the reviewers for analyzing the article and recommendations to improve its content.

**For citation:** Gold-Uranium mineralization in the Baltic Shield / E. N. Afanaseva [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024;31 (4): 147–164. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_147-164](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_147-164)

## ВВЕДЕНИЕ

Территория Балтийского (Фенноскандинавского) щита охватывает Кольско-Беломорский, Лапландско-Карельский, Свекофеннский, Готско-Дальсландский мегаблоки, а также разделяющие их шовные складчато-надвиговые зоны: Восточно-Карельскую, Раахе-Ладожскую и Транс-Сканданавскую (рис. 1). Эти долгоживущие структуры сложены интенсивно метаморфизованными вулканогенными, осадочно-вулканогенными образованиями разного состава, испытавшими неоднократно преобразования под воздействием разновозрастных тектонических движений, гидротермально-метасоматических и экзогенных процессов, что нашло отражение в специфике рудогенеза.

В основу статьи положены результаты интенсивных и целенаправленных прогнозных, прогноз-металлогенических и поисковых работ, ранее проведенных на российской части Балтийского щита геологами различных организаций, а на зарубежной — специалистами финской, норвежской и шведской геологических служб, которые привели к открытию урановых месторождений различной рудно-формационной принадлежности: типа несогласия, «песчаниковых» (битумно-урановых), кварцево-галечных конгломератов, жильных (в классификации МАГАТЭ), а также многочисленных рудопроявлений, проявлений, аномалий [1–3].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Урановые, комплексные с ураном рудные объекты.** Наиболее перспективными на выявление уранового и комплексного с ураном оруденения в пределах российской части Балтийского щита

являются зоны структурно-стратиграфического несогласия (далее — ССН) и зоны складчато-разрывных дислокаций (далее — СРД). Потенциал разных уровней ССН на выявление уранового оруденения различный: зоны предрифейского несогласия характеризуются высокими содержаниями урана, зоны предвендского ССН — низкими содержаниями урана со значительными запасами урановых руд, зоны раннепротерозойского ССН — низкими содержаниями урана [4].

*Предрифейское ССН* имеет наивысший потенциал, который определяется месторождением Карку, локализованным в Пашско-Ладожском грабене. Структурно-стратиграфическое несогласие обусловлено пологим залеганием рифейских осадочных образований на интенсивно дислоцированных породах архея и протерозоя. Рифейские отложения и породы фундамента интенсивно каолинизированы, хлоритизированы, карбонатизированы. Отмечаются многочисленные выделения сульфидов и битумов. Урановое оруденение приурочено к цементу песчаников; кроме того, урановая минерализация установлена также и в породах фундамента. Она представлена настураном и коффинитом. Содержание урана колеблется от 0,03 до 0,2–0,5 %, до 19 % [7]. В рудах отмечаются повышенные содержания Zn, Ag, Pb. Возраст оруденения — от 1400 до 200–190 млн лет. Апробированные ВИМСом [6] прогнозны ресурсы для Ладожского потенциально урановорудного района составляют 50 тыс. т урана ( $P_3$ ), для Салминского рудного узла — 4 тыс. т ( $P_1$ ) и также 4 тыс. т ( $P_2$ ). Авторские прогнозны ресурсы для месторождения Карку составляют 6,7 тыс. т U ( $P_1$ ), 50 тыс. т ( $P_1 + P_2$ ) [6].

Рифейский прогиб известен также в пределах Беломорского мегаблока, где выделен Терско-бережный потенциально урановорудный район.



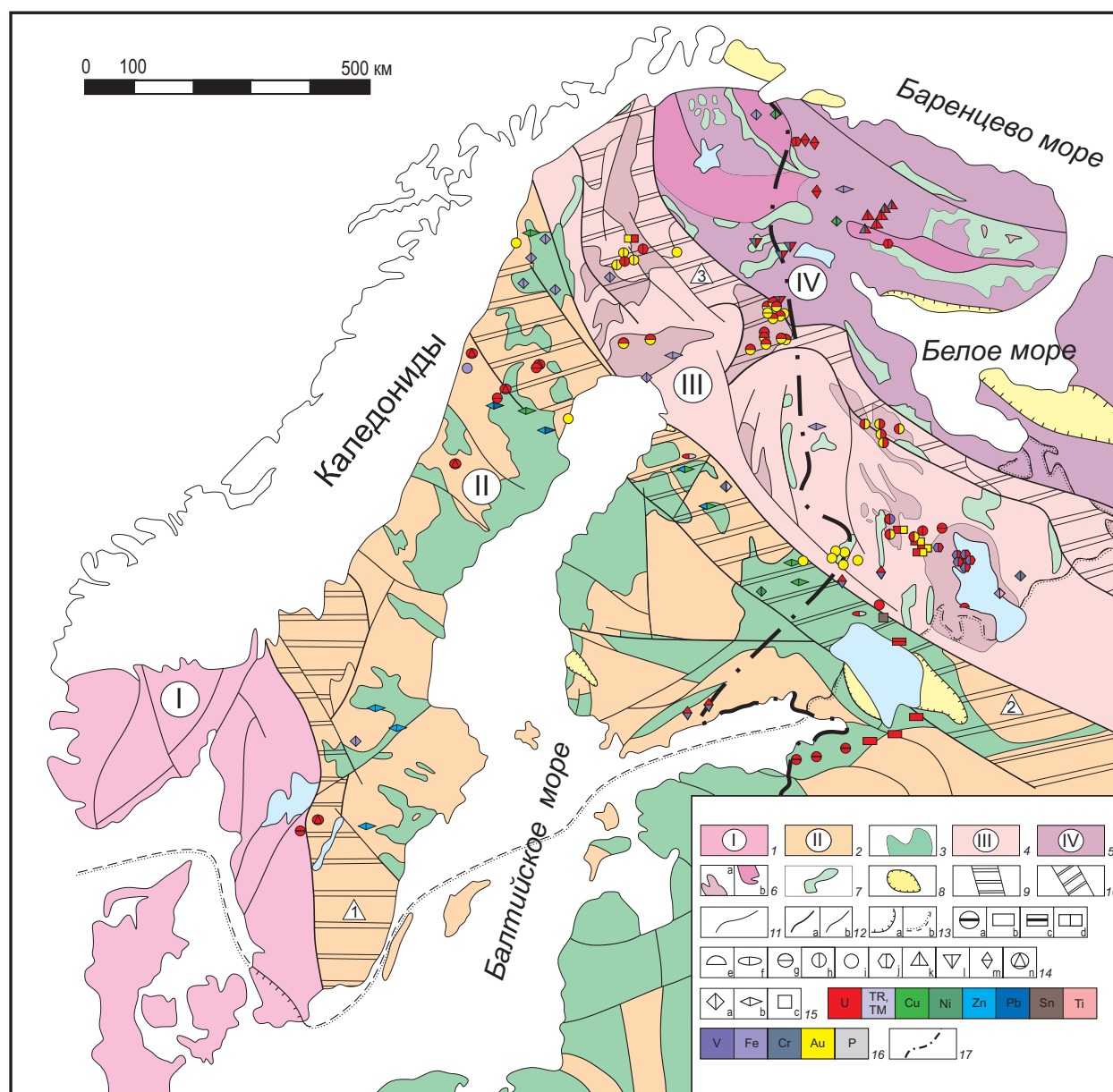
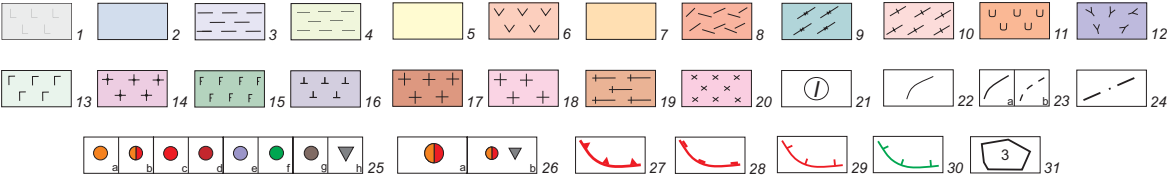
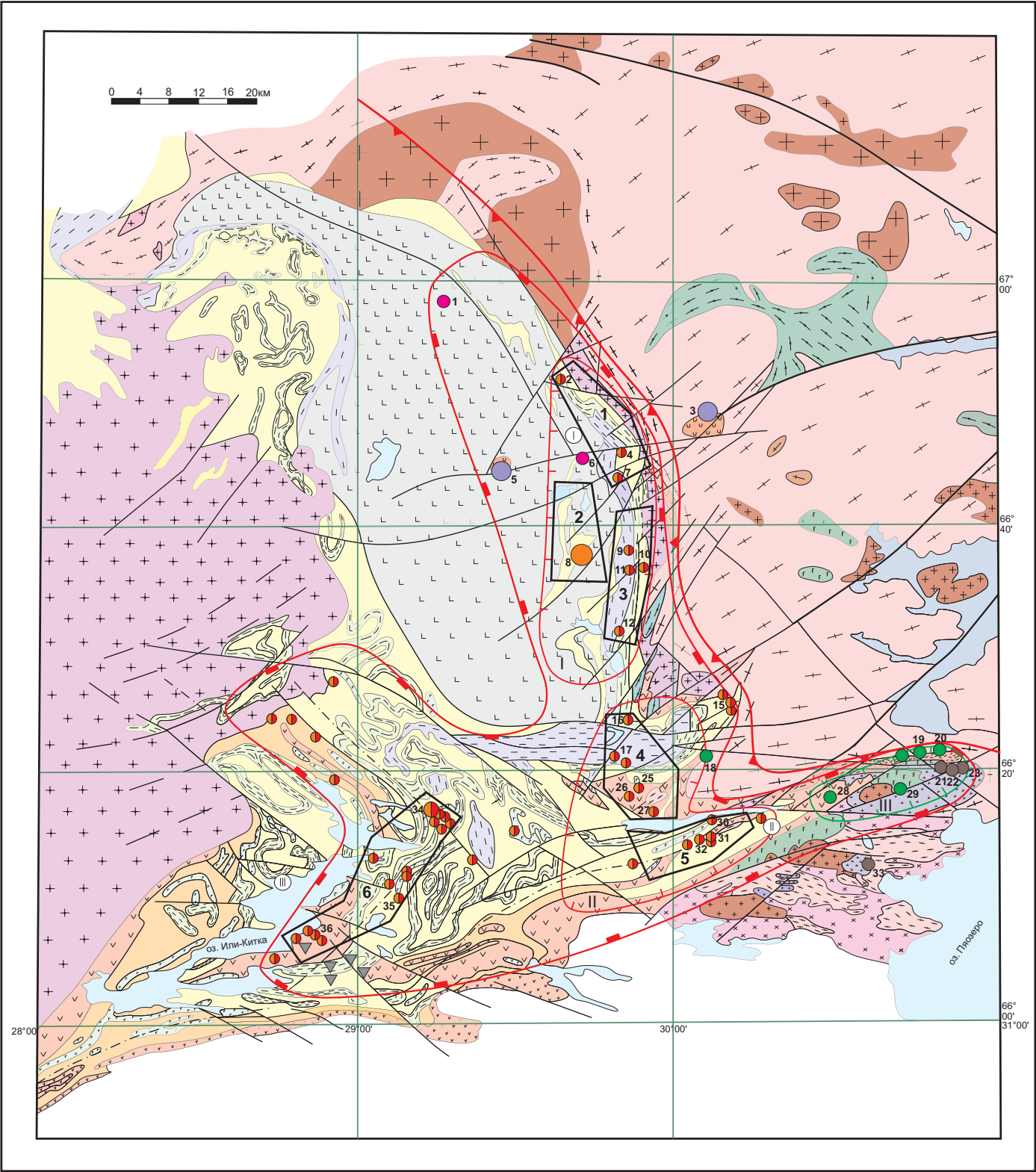


Рис. 1. Тектоническая схема Фенноскандинавского щита

1–7 — мегаблоки: 1 — Дальсландский (I); 2, 3 — Свеккофеннский (II): 2 — гранитоиды, 3 — вулканогенные породы; 4 — Лапландско-Карельский (III); 5 — Кольско-Беломорский (IV); 6 — протерозойские структуры в пределах Лапландско-Карельского мегаблока (a), Кольско-Беломорского мегаблока (b); 7 — архейские зеленокаменные пояса; 8 — рифейские авлакогены; 9, 10 — межблоковые зоны: 9 — Транс-Скандинавская (I), 10 — Раахе-Ладожская (2) и Восточно-Карельская (3); 11 — литологические границы; 12 — разломы главные (a), второстепенные (b); 13 — структурно-стратиграфические несогласия: предрифейское (a), предвендское (b); 14 — типы урановых, золото-урановых, золоторудных месторождений и рудопроявлений: черносланцевый (a), предвендского несогласия (b), предрифейского несогласия (c), предраннепротерозойского (предятулийского) несогласия (d), песчанниковый (e), фосфоритовый (f), жильный (g), конгломератовый (h), золото-кварцевый, золото-сульфидно-кварцевый в березитах и лиственитах (i), метасоматический (j), интрузивный субщелочной (k), интрузивный карбонатитовый (l), ультраметаморфический (m), неустановленного типа (n); 15 — рядовая минерализация: медная, медно-никелевая, хромовая, железо-титановая в базитах и гипербазитах (a), медная, медно-никелевая, хромовая, железо-титановая в кристаллических сланцах (b), полиметаллически-оловорудная в скарнах (c); 16 — полезные ископаемые; 17 — государственная граница

Fig. 1. Tectonic diagram of the Fennoscandian Shield

1–7 — megablocks: 1 — Dalsland (I); 2, 3 — Svecofennian (II): 2 — granitoids, 3 — volcanic rocks; 4 — Lapland-Karelian (III); 5 — Kola-Belomorian (IV); 6 — Proterozoic structures within the Lapland-Karelian megablock (a), Kola-Belomorian megablock (b); 7 — Archean greenstone belts; 8 — Riphean aulacogens; 9, 10 — interblock zones: 9 — Trans-Scandinavian (I), 10 — Raahel-Ladoga (2) and East Karelian (3); 11 — lithological boundaries; 12 — major (a), minor (b) faults; 13 — structural and stratigraphic unconformities: Pre-Riphean (a), Pre-Vendian (b); 14 — types of uranium, gold-uranium, gold ore deposits and ore occurrences: black shale (a), Pre-Vendian unconformity (b), Pre-Riphean unconformity (c), Pre-Early Proterozoic (Pre-Jatulian) unconformity (d), sandstone (e), phosphorite (f), vein (g), conglomerate (h), gold-quartz, gold-sulfide-quartz in beresites and listvenites (i), metasomatic (j), intrusive subalkaline (k), intrusive carbonatite (l), ultrametamorphic (m), of an unspecified type (n); 15 — ordinary mineralization: copper, copper-nickel, chromium, iron-titanium in basites and hyperbasites (a), copper, copper-nickel, chromium, iron-titanium in crystalline shales (b), polymetallic tin ore in skarns (c); 16 — mineral resources; 17 — state border



Апробированные ВИМСом прогнозные ресурсы для Терскобережного потенциально урановорудного района оценены в 10 тыс. т U (P<sub>3</sub>), для Кицко-Юлицкого рудного поля — в 20 тыс. т [5]. Авторские прогнозные ресурсы урана по категории P<sub>3</sub> оценены в 63,9 тыс. т (P<sub>1</sub> + P<sub>2</sub>), по категории P<sub>2</sub> — 9,387 тыс. т, по категории P<sub>1</sub> — 6,7 тыс. т [7]. Рудопроявления локализованы в пегматитах и кварц-полевошпатовых метасоматитах с наложенными низкотемпературными изменениями — хлоритизация, серицитизация, альбитизация (рудопроявление Кица) или в катаклазированных и брекчированных альбититах (рудопроявление Юлица).

Положение рудных объектов типа «предвездского несогласия» в региональном плане определяется сочленением плитного комплекса Русской плиты со структурами Балтийского щита, а также Балтийско-Мезенской разломно-блоковой зоной. Песчаники и гравелиты вендского базального горизонта перекрывают раннепротерозойские сланцы и гнейсы, прорванные специализированными на уран лейкогранитами. Аномальные концентрации урана зафиксированы как в песчаниках и граве-

литах базального горизонта, так и в породах коры выветривания. Урановая минерализация представлена настуромом и урановыми чернями; иногда отмечается коффеинит. Она сопровождается пиритом, галенитом, молибденитом. Содержание урана колеблется от 0,03 до 0,1 % на мощность 0,5–3,5 м. Возраст образования основных урановых концентратов составляет 420–350 млн лет. Более молодой возраст (от 300 до 5 млн лет) свидетельствуют о перераспределении части урановорудных концентраций. Этот тип уранового оруденения представлен месторождениями Ратницкое, Рябиновское, Славянское. Апробированные ВИМСом [5] прогнозные ресурсы урана Невско-Волховского потенциально урановорудного района оцениваются в 312 тыс. т U (P<sub>3</sub>).

Кроме того, на южном склоне Балтийского щита, в зоне его погружения под чехол фанерозойских вулканогенно-осадочных образований, выделен Прибалтийский потенциально урановорудный район с комплексными (U, Mo, V) месторождениями, локализованными в диктионемовых сланцах пакедорского горизонта ордовика (Котловское, Красносельское, Кайболовское и др.). Апробированные

Рис. 2. Схема Куусамо-Куола-Панаярвинского урановорудного района

1–10 — стратифицированные комплексы: 1–3 — людиковий: 1 — метабазальты, метапорфириты, метаандезиты, метаандезито-базальты; 2 — метапесчаники, метаконгломераты, метаалевролиты, метаалевропелиты, прослои метатuffов; 3 — метатuffы, метатuffолавы, сланцы биотит-амфиболовые, амфибол-биотит-полевошпатовые, часто углеродсодержащие; 4, 5 — ятулий: 4 — метапорфириты с прослоями метатuffолавы, метамандельштейны, метатuffов; 5 — кварцитопесчаники, кварциты, метаалевролиты, метаконгломераты и гравелиты с корой выветривания в основании; 6, 7 — сариолий: 6 — метаандезиты, метаандезито-базальты, агломератные метатuffы; 7 — метапесчаники, кварциты, метаконгломераты; 8 — кварцевые метапорфириты и метакератофиты сумия с полимиктовыми конгломератами в основании; 9 — гнейсы биотитовые, амфибол-биотитовые, амфиболиты лопия; 10 — амфиболовые, биотит-амфиболовые гнейсы нижнего архея; 11–20 — интрузивные комплексы: 11 — палеозой: ультраосновные и щелочные породы; 12–14: протерозой: 12 — метаоливиниты, метапироксениты, метаперидотиты; 13 — метагаббро, метагаббро-диабазы; 14 — граниты микроклиновые, плагиомикроклиновые; 15–20: архей: 15 — метагаббро, метагаббро-диабазы, ортоамфиболиты; 16 — метаперидотиты, метагаббро-нориты, метаоливиниты, метапироксениты (Олангская группа); 17 — микроклиновые граниты, гнейсо-граниты, мигматиты; 18 — граниты плагиомикроклиновые, гнейсо-граниты, мигматиты; 19 — граниты плагиоклазовые, микроклин-плагиоклазовые, гнейсо-граниты; 20 — диориты, гранодиориты, диорит гнейсы; 21 — крупные структуры: I — Куолярвинская, II — Панаярвинская, III — сланцевый пояс Куусамо; 22 — границы пород; 23 — разломы установленные (a), предполагаемые (b); 24 — shear-зоны; 25 — рудные объекты: Au (a); Au, U (b); U (c); Ni (d); Nb, Ta (e); Cu (f); Pt, Pd (g); Fe-сульфидные, Au-содержащие (h); 26 — месторождения (a); рудопроявления и проявления (b); рудные объекты: 1 — Кейгуварское; 2 — Апоярви; 3 — Вуориярви; 4 — Алимкурсуярви; 5 — Салланлатвинское; 6 — Куйваринское; 7 — Аллакурти; 8 — Майское; 9 — Озерное; 10 — Кварцитовое; 11 — Лагерное; 12 — Касиярви; 13 — Исо-Сиепи; 16 — Кауттио; 17 — Альбит-1; 18 — Нерисярви; 19 — Ципринга; 20 — Западное; 21 — Западное; 22 — Надежда; 23 — Восточное; 25 — Хейкин-ваара; 26 — Хейкин-ярви; 27 — Мянтьюкки; 28 — Васкивара; 29 — Нюдомолакша; 30 — Ляппеля; 31 — Корпела; 32 — Сувалампи; 33 — Кивакка; 34 — Юомасу; 35 — Контиахо; 36 — Кувепваара; 27–30 — Границы минерагенических таксонов: 27 — Восточно-Карельской структурно-металлогенической зоны; 28 — Куусамо-Куола-Панаярвинского урановорудного района; 29, 30 — рудных узлов: Алим-Курсуярвинского (I), Савоярви-Кауттиярвинского (II) урановорудных узлов; 30 — Олангского (III) медно-платинометаллического узла 31 — границы прогнозных площадей: 1 — Алимкурсуярви, 2 — Нилуттиярви, 3 — Савоярви, 4 — Южно-Панаярвинской, 5 — Или-Китка

Fig. 2. Diagram of the Kuusamo-Kuola-Panajarvi uranium ore region

1–10 — stratified complexes: 1–3 — Ludicovi: 1 — metabasalts, metaophyrites, metaandesites, metaandesite-basalts; 2 — metasandstones, metaconglomerates, metasiltstones, metaaleurolites, metatuff interlayers; 3 — metatuffs, metatuff lavas, biotite-amphibole shales, amphibole-biotite-feldspar shales, often carbonaceous; 4, 5 — Jatuli: 4 — metaophyrites with interlayers of metatuff lavas, metamandelsteins, metatuffs; 5 — quartzite-sandstones, quartzites, metasiltstones, metaconglomerates and gravelites with a weathering crust at the base; 6, 7 — Sariola: 6 — metaandesites, metaandesite-basalts, agglomerate metatuffs; 7 — metasandstones, quartzites, metaconglomerates; 8 — Sumian quartz metaophyrites and metakeratophytes with polymictic conglomerates at the base; 9 — Lopian biotite gneisses, amphibole-biotite, amphibolites; 10 — Lower Archean amphibole, biotite-amphibole gneisses; 11–20 — intrusive complexes: 11 — Paleozoic: ultramafic and alkaline rocks; 12–14 — Proterozoic: 12 — metaolivinities, metapyroxenites, metaperidotites; 13 — metagabbro, metagabbro-diorites; 14 — microcline, plagiomicrocline granites; 15–20 — Archean: 15 — metagabbro, metagabbro-diorites, orthoamphibolites; 16 — metaperidotites, metagabbro-norites, metaolivinities, metapyroxenites (Olang group); 17 — microcline granites, gneiss-granites, migmatites; 18 — plagiomicrocline granites, gneiss-granites, migmatites; 19 — plagioclase granites, microcline-plagioclase, gneiss-granites; 20 — diorites, granodiorites, diorite gneisses; 21 — large structures: I — Kuolajarvi, II — Panajarvi, III — Kuusamo Schist Belt; 22 — rock boundaries; 23 — established (a), inferred (b) faults; 24 — shear zones; 25 — ore objects: Au (a); Au, U (b); U (c); Ni (d); Nb, Ta (e); Cu (f); Pt, Pd (g); Fe-sulfide, Au-bearing (h); 26 — deposits (a); ore occurrences and occurrences (b); ore objects: 1 — Keiguvarkoye; 2 — Apojarvi; 3 — Vuorijarvi; 4 — Alimkursujarvi; 5 — Sallanlatvinskoye; 6 — Kuivajarvi; 7 — Allakurti; 8 — Mayskoye; 9 — Ozeroye; 10 — Kvartsitovoye; 11 — Lageroye; 12 — Kasjarvi; 13 — Iso-Siepijarvi; 16 — Kauttio; 17 — Albit-1; 18 — Nerisjarvi; 19 — Tsipringa; 20 — Zapadnoye; 21 — Zapadnoye; 22 — Nadezhda; 23 — Vostochnoye; 25 — Heikinvaara; 26 — Heikinjarvi; 27 — Manttyjokki; 28 — Vaskivara; 29 — Nydomolaksha; 30 — Lappala; 31 — Korpela; 32 — Suvalampi; 33 — Kivakka; 34 — Juomasu; 35 — Konttiho; 36 — Koupevaara; 27–30 — Mineralogical taxon boundaries: 27 — East Karelian structural-metallogenic zone; 28 — Kuusamo-Kuola-Panajarvi uranium ore district; 29, 30 — ore clusters: Alim-Kursujarvi (I), Savojarvi-Kauttijarvi (II) uranium ore clusters, 30 — Olanga (III) copper-platinum cluster; 31 — area boundaries: 1 — Alim-Kursujarvi, 2 — Nilutjarvi, 3 — Savojarvi, 4 — Yuzhno-Panajarvi, 5 — Yli-Kitka



ВИМСом прогнозные ресурсы урана Прибалтийского потенциально урановорудного района составляют 10 тыс. т [5].

*Метасоматический в черных сланцах* тип уранового оруденения проявлен в пределах Онежского прогиба (Онежского рудного района). Рудовмещающими являются углеродсодержащие терригенные породы людиковия. Пространственное размещение рудных объектов контролируется линейными зонами СРД. 11 зон СРД было выявлено в Онежском прогибе, но только 4 из них изучены. Они представляют собой системы узких антиклиналей северо-западного простирания протяженностью от 30 до 100 км при ширине 2–4 км. Рудоносные интервалы, вмещающие комплексное оруденение, протягиваются на 2,0–2,5 км при ширине 500–600 м. Породы в пределах зон СРД интенсивно альбитизированы, карбонатизированы, биотитизированы. В Онежском прогибе выявлено пять месторождений (Средняя Падма, Космозеро, Царевка и др.) и девять рудопроявлений. Урановое оруденение представлено браннеритом, коффинитом, настураном. Среднее содержание урана составляет 0,15–0,25 % (до нескольких % на 1–3 м), оксида ванадия — 2,5–3,5 %. Апробированные ВИМСом прогнозные ресурсы урана Онежского потенциально урановорудного района оцениваются в 10 тыс. т [5].

**Золото-урановые объекты.** В последние годы появляется все больше данных, указывающих на наличие золоторудных концентраций на урановых месторождениях докембрийских щитов, в том числе Балтийского щита [1; 7–11]. Это тем более важно, что в настоящее время появилась необходимость поиска новых типов урановых месторождений, локализованных в различных геологических обстановках.

Наибольший потенциал с точки зрения золотого и золото-уранового оруденения связан со структурами Восточно-Карельской структурной зоны (рифтогенного пояса), разделяющей Беломорский и Лапландско-Карельский блоки (рис. 1). Длительная эволюция в процессе формирования пояса, от заложения и осадконакопления на раннекарельском этапе развития до свекофеннской орогении, наличие в разрезе углеродистых и углеродсодержащих пород, интенсивная складчатость и проявление гидротермально-метасоматических изменений в период свекофеннской тектоно-магматической активизации с образованием альбититов и альбит-карбонатных брекчий, уранинитовая минерализация, с которой связаны проявления золота, в совокупности могут определять перспективы открытия золоторудных объектов в пределах структур Восточно-Карельской зоны.

Восточно-Карельская структурная зона характеризуется высокой рудонасыщенностью; при этом каждая из входящих в ее состав структур обладает спецификой геологического строения, что отразилось на различной металлогенической специализации отдельных частей пояса. Куусамо-Панакуолярвинский прогиб (рис. 2), представляющий собой центральное звено Восточно-Карельской зоны, выступает в качестве одной из наиболее перспективных структур на обнаружение золото-урановых

рудных объектов, что позволяет рассматривать его в качестве урановорудного района.

В пределах Куусамо-Панакуолярвинского прогиба известно большое число урановых рудопроявлений, размещающихся на разных стратиграфических уровнях — Лагерное, Озерное, Алим-Курсуярви, Конттиахо, Юомасуо и т. д. (рис. 2). Как показали исследования Финской геологической службы [10; 11], а также работы последних лет на проявлениях Пана-Куолярвинского прогиба российской части Балтийского щита [7; 4; 12], практически со всеми рудопроявлениями и проявлениями урана связаны различные по масштабу рудные концентрации золота, что позволяет рассматривать их в качестве золото-урановых.

Зеленокаменный пояс Куусамо (Финляндия), центральную часть которого составляет Куусамо-Панакуолярвинский прогиб, вмещает свыше 10 мелких месторождений и рудопроявлений, несколько десятков проявлений золотой, золото-урановой минерализации (рис. 2). Наибольший интерес представляют Fe-Co-Au-U месторождения, типичными представителями которых являются месторождения Юомасуо и Конттиахо. Рудные тела локализуются среди сульфидсодержащих кварц-серицит-хлоритовых, кварц-серицитовых и кварц-хлоритовых метасоматитов, окруженных широкими зонами альбитизации, которые выполняют ядерные части тектонических зон (месторождение Юомасуо), или среди альбитовых, альбит-карбонатных брекчий, содержащих жилы карбонатного, альбит-карбонатного состава (месторождение Конттиахо) [10; 11].

Месторождение Конттиахо локализовано в пределах shear-зоны среди альбититов и более поздних альбит-карбонатных брекчий. Процесс альбитизации проявлен среди серицитовых сланцев, кварцитов, кварцитопесчаников ятулия; он выступает в качестве рудоподготавливающего процесса при формировании уранового, золото-уранового оруденения. Процесс альбитизации сменяется этапом брекчирования альбититов до образования брекчий на карбонатном цементе. Месторождение Конттиахо представлено брекчиевыми рудами, локализованными в зонах хрупких деформаций. Co-Au-U минерализация на месторождении ассоциирована с карбонатными, кварцевыми, кварц-карбонатными метасоматитами, развитыми во внутренней части фронта альбитизации [10; 11]. Брекчированные руды представлены трубообразными телами округлой или овальной формы с диаметром от 0,5 до 15,0 м, прослеженными до глубины 30,0 м.

Запасы Au составляют 8 т (при содержании Au — от 0,5 до 10,0 г/т), Co — 0,1–0,3 %, Mo — до 0,8 %, U — 0,04–0,1 %. Помимо золота, месторождение может стать источником добычи меди и кобальта [11].

Пространственное положение оруденения на месторождении Юомасуо контролируется shear-зонами, в пределах которых интенсивно проявлены хлоритизация, амфиболитизация, серицитизация, биотитизация, окруженные широкими ореолами альбитизации, — рис. 3, а [10; 11]. Альбитизация относится к наиболее широко распростра-

ненному типу гидротермально-метасоматических изменений пород; зачастую наблюдается развитие почти чисто альбитовых пород с содержанием  $\text{Na}_2\text{O}$  — 6–11 %.

Рудные зоны обогащены Co, Au, U, Mo ( $\pm\text{Cu}$ ). Рудная минерализация представлена пирротинном, пиритом, а также самородным золотом, теллуридами и висмутитами. Кроме того, отмечаются кобальтин, кобальтовый пентландит, халькопирит, уранинит, молибденит. Золото присутствует в виде тончайших включений в пирите, уранините, кобальтине. Отмечается совместное нахождение золота и урана в пределах единых shear-зон (рис. 3, *b*). Зерна самородного золота заключительной стадии или стадии мобилизации локализируются в микротрещинах уранинита совместно с теллуридами. Средние содержания основных элементов для месторождения Юомасуо составляют: Co — 0,2 %, U — до 0,18 %, Au — до 6 г/т, Te — до 6–7 г/т.

По данным компании Dragon Mining Ltd ([www.dragon-mining.com.au](http://www.dragon-mining.com.au)), проводившей поисково-оценочные работы на месторождениях зеленокаменного пояса Куусамо, запасы наиболее крупного из объектов — Fe-Co-Au-U месторождения Юомасуо — на ноябрь 2011 г. составляли 9,58 т при среднем содержании 4,9 г/т Au. В целом запасы золота для месторождений этого типа оцениваются в 9–12 т [10; 11].

Интерес к золото-урановой минерализации в раннепротерозойских структурах резко возрос с открытием проявлений группы Ромпас (Финляндия), локализованных в пределах сланцевого

пояса Перапохиа (Финляндия) – рис. 4. Пояс Перапохиа является палеопротерозойским бассейном, сформированным на архейском фундаменте Балтийского щита (рис. 4). Характерная особенность пояса — широкое развитие вулканитов основного состава, черных и слюдяных сланцев и граувакк, проявление позднеорогенного (1,84–1,80 млрд лет) и посторогенного (1,79–1,76 млрд лет) гранитоидного магматизма, наличие многочисленных кварц-карбонатных жил с аномальными содержаниями золота.

В соответствии с данными [9], для проявлений группы Ромпас характерно совместное нахождение золотоносных минералов с уранинитом и углеродистым веществом. Золото-урановая минерализация локализована в деформированных кварц-карбонатных жилах преимущественно меридионального простирания среди вулканитов основного состава. Границы жил с вмещающими породами резкие; вдоль жил отмечается развитие метасоматитов с локально проявленным обогащением биотитом. Отмечаются более поздние кальцитовые жилы, беспорядочно ориентированные по отношению к ранним кварц-карбонатным жилам. Вмещающие жилы породы биотитизированы с локально проявленными зонами интенсивной альбитизации. Кварц-карбонатные жилы деформированы в сложные складчатые структуры, будинированы с образованием лестничных структур. Распределение урана и золота в жилах крайне неравномерное, зачастую гнездообразное. Гнезда, вмещающие крупные (до 2 см) кристаллы уранинита, характеризуются

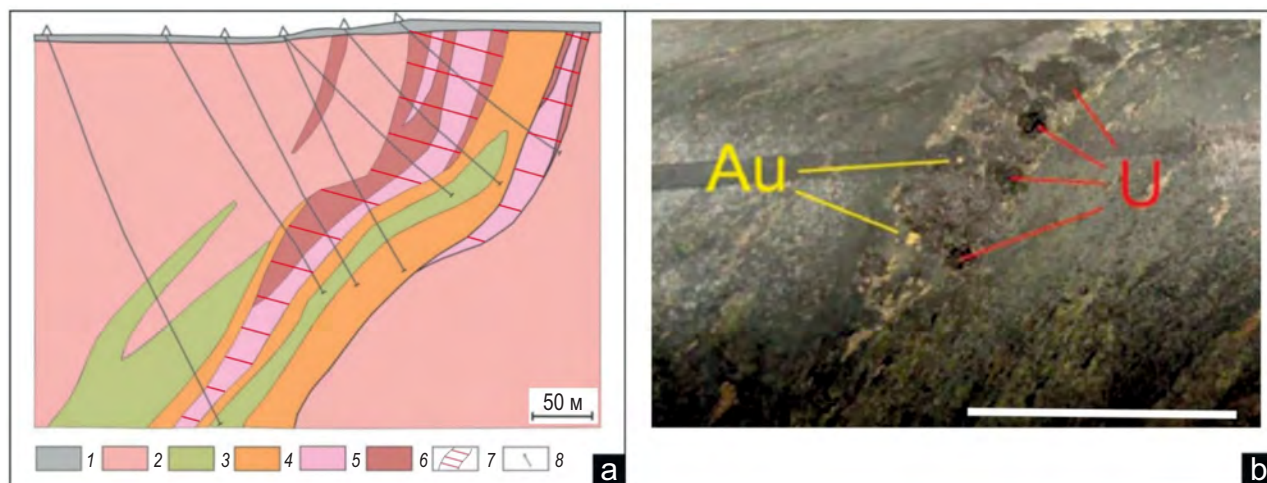


Рис. 3. Месторождение Юомасуо (Финляндия)

**a** — геологический разрез: 1 — четвертичные образования, 2 — альбититы, 3 — хлорит-талк-амфиболовые породы (силл), 4 — альбит-амфибол-кварц-карбонатные породы, 5 — кварц-хлоритовые породы, 6 — кварц-серицитовые породы, 7 — рудоносные зоны, обогащенные Au, U, Cu, Co, 8 — скважины; **b** — совместное нахождение урана и золота в shear-зонах

Источник: **a** — по E. Vanhanen [11]; **b** — по E. Vanhanen [10]

Fig. 3. Juomasuo deposit (Finland)

**a** — geological section: 1 — Quaternary formations, 2 — albitites, 3 — chlorite-talc-amphibole rocks (sill), 4 — albite-amphibole-quartz-carbonate rocks, 5 — quartz-chlorite rocks, 6 — quartz-sericite rocks, 7 — ore-bearing zones enriched in Au, U, Cu, Co, 8 — wells; **b** — joint occurrence of uranium and gold in shear zones

Source: **a** — by E. Vanhanen [11]; **b** — by E. Vanhanen [10]

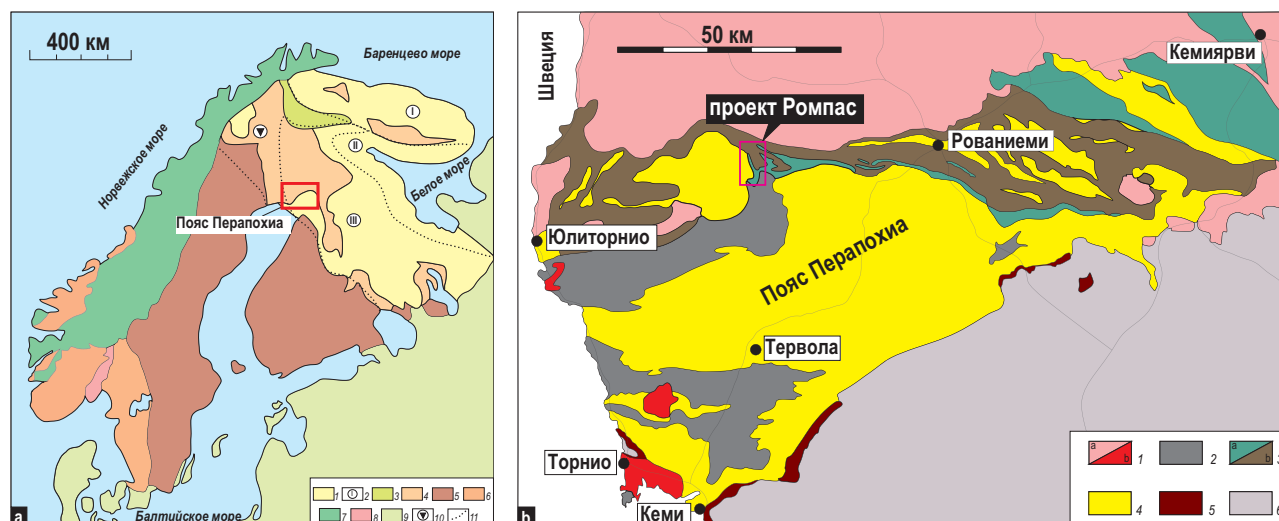


Рис. 4. Схема геологического строения сланцевого пояса Перапохиа с положением проявлений группы Ромпас

**a** — 1 — образования архейского возраста; 2 — архейские мегаблоки: I — Кольско-Мурманский, II — Беломорский, III — Карельский; 3 — Лапландский гранулитовый пояс; 4 — раннепротерозойский чехол; 5 — Свеккофеннский ороген; 6 — Свеконорвежский ороген; 7 — каледониды; 8 — грабен Осло; 9 — чехол Русской платформы; 10 — провинция Норботтелл; 11 — границы.

**b** — 1 — Центрально-Лапландский гранитоидный комплекс (1,8 млрд лет) (a), гранитоиды Хаапарантской свиты (1,88 млрд лет) (b); 2 — формация Мартимо (1,92 млрд лет); 3 — вулканиты (a), слюдяные сланцы, метаграувакки, черные сланцы (b); 4 — кварциты, доломиты, основные вулканиты и интрузивные образования; 5 — слоистые интрузии основного состава (2,44 млрд лет); 6 — Пудасъярвский гнейсовый комплекс архейского возраста

Источник: [9]

Fig. 4. Diagram of the Peralopia Schist Belt geological structure, with the Rompas group occurrences located

**a** — 1 — Archean formations; 2 — Archean megablocks: I — Kola-Murmansk, II — Belomorian, III — Karelian; 3 — Lapland Granulite Belt; 4 — Early Proterozoic cover; 5 — Svecofennian orogeny; 6 — Sveconorwegian orogeny; 7 — Caledonides; 8 — Oslo Graben; 9 — Russian platform cover; 10 — Norbottell province; 11 — boundaries.

**b** — 1 — Central Lapland granitoid complex (1.8 bn years) (a), Haaparanta Formation granitoids (1.88 Ga) (b); 2 — Martimo Formation (1.92 Ga years); 3 — volcanites (a), mica schists, metagraywackes, black shales (b); 4 — quartzites, dolomites, basic volcanites and intrusive formations; 5 — layered intrusions of basic composition (2.44 Ga); 6 — Archean Pudasjarvi gneiss complex

Source: [9]

высокими содержаниями золота, которые локально достигают  $> 10\,000$  г/т, а также урана [8].

Крупнокристаллические порфиробластические зерна уранинита (с золотом и без такового) расположены в будинированных кварц-карбонатных жилах; мелкозернистые вкрапленники уранинита отмечаются как в ранних кварц-карбонатных жилах, так и в секущих кальцитовых жилах. С обоими типами уранинита тесно ассоциируют выделения углеродистого вещества — битума. Наличие золото-уранинитовой и золото-уранинит-битумной ассоциаций связывается с образованием и миграцией углеводородов и мобильностью урана в процессе формирования и эволюции сланцевого пояса Перапохиа [9].

Возраст уранового оруденения (по ураниниту) 1,95–1,90 млрд лет, что соответствует осаждению первичной (высокотемпературной) урановой минерализации [9]. Последующая перекристаллизация содержащих уранинит кварц-карбонатных жил (1,9–1,8 млрд лет) сопровождалась флюидом с концентрацией углеводородов вокруг зерен уранинита. Золото осаждалось в ходе последующего гидротермального процесса по микротрещинам в уранините совместно с другими рудными минералами и кальцитом или на поверхностях уранинита и битумов. Ремобилизация и переотложение урана в ходе этих гидротермальных

процессов привели к образованию вторичных зерен уранинита с возрастом 1,85–1,65 млрд лет. Самородное золото ассоциирует с галенитом, алтаитом, хунчуном, никелином, а также кобальтином, пиритом, пирротинном, халькопиритом, молибденитом и титанитом.

В соответствии с опубликованными данными и по результатам собственных минералогических исследований по изучению образцов и аншлифов из рудных зон проявлений группы Ромпас (проведены В. В. Ляхницкой), отобранных сотрудниками экспедиции во время посещения ими проявлений группы данной [13], правомерно заключить, что золоторудная минерализация имеет отчетливую связь с урановой минерализацией, представленной преимущественно уранинитом. Золото локализуется в пустотах и микротрещинах в уранините (рис. 5, a), а также заполняет интерстиции между мелкозернистыми агрегатами рыхлых зерен уранинита, локализованных в крупнозернистом амфиболе (рис. 5, b).

Участок Озерный (рис. 6) Пана-Куолаярвинского прогиба характеризуется интенсивным проявлением гидротермально-метасоматических преобразований пород (альбитизации, последующего брекчирования, карбонатизации, окварцевания),



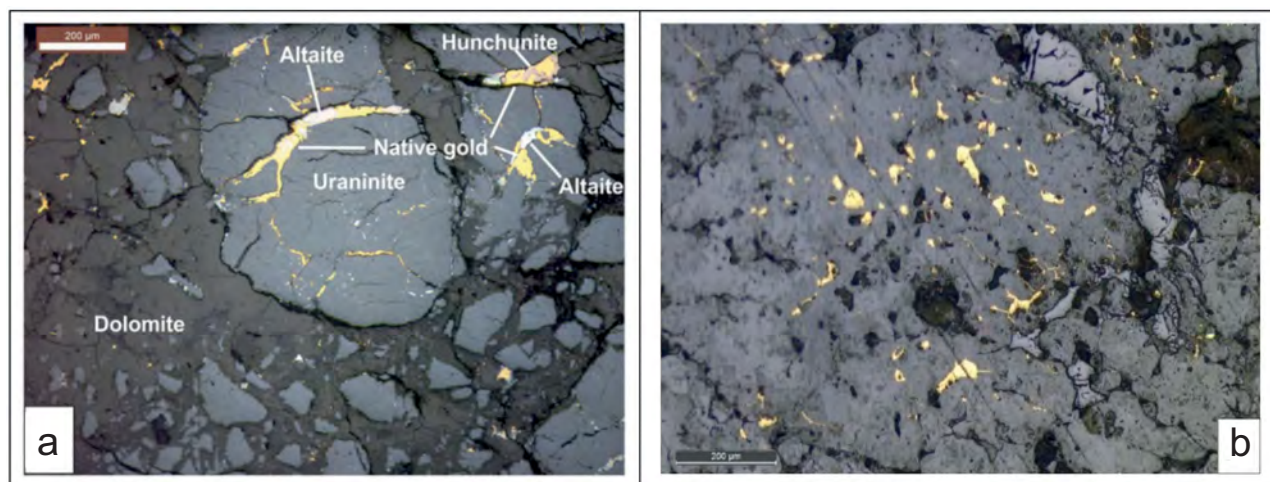
наличием рудопроявлений урана (Озерное, Лагерное, Кварцевое), в пределах рудных зон которых установлены аномальные и рудные концентрации золота, близостью структурно-вещественных обстановок локализации рудных объектов с месторождениями и проявлениями пояса Куусамо, а также с золото-урановыми проявлениями группы Ромпас (табл. 1), что дает основание для высокой оценки перспектив участка на выявление золотых, золото-урановых месторождений. При этом золоторудные концентрации могут быть связаны как с ураноносными альбититами и альбит-карбонатными метасоматитами, так и с кварц-сульфидными жилами. Есть основание полагать, что формирование урановых и связанных с ними золоторудных концентраций является результатом проявления единого многостадийного рудоформирующего процесса, обусловленного переносом и концентрацией рудного вещества в единых рудоносных зонах.

Рудоносные зоны на рудопроявлениях Озерное и Лагерное по простиранию прослеживаются на 100–120 м (до 500 м) при мощности 20–30 м (до 60 м).

Рудные тела рудопроявления Озерное размещаются среди биотитовых, кварц-биотитовых, кварц-амфиболовых, кварц-плаггиоклаз-амфиболовых сланцев по вулканитам основного-среднего состава апаравинской свиты в узлах пересечения Нилуттиярвинской меридиональной зоны с поперечными и диагональными (северо-восточными) дизъюнктивами, определяющими проявление альбититов и альбит-карбонатных метасоматитов, выполняющих ядерные части рудоносных зон (табл. 1). Ранняя стадия гидротермально-метасоматических преобразований пород проявилась аль-

битизацией с образованием мономинеральных альбититов; максимальная интенсивность проявления альбитизации характерна для осевых частей разломных зон. Макроскопически альбититы представляют собой мелкозернистые породы красноватого цвета за счет тонкорассеянного гематита. В состав натриевых метасоматитов, помимо альбита, входят бурый биотит, карбонат (кальцит), доломит, пироксеноиды, которые образуют раннюю ассоциацию. Хлорит замещает темноцветные минералы вмещающих пород (биотит, амфибол). Мощность тел альбититов составляет от 1–2 до 10 м. В экзоконтактах тел альбититов выявлены зоны хлоритолитов мощностью 0,5–1,0 м. В телах альбититов повсеместно отмечаются кальцитовые и доломитовые прожилки выполнения мощностью от 0,5 до 2,0–2,5 см, которые распределяются в телах альбититов неравномерно, тяготея к осевым частям этих тел, где породы приобретают брекчиевидный облик. Как во вмещающих кальцитовых жилах альбититов, так и в самих жилах отмечается проявление вторичных низкотемпературных изменений, выражающихся прежде всего в замещении доломита или кальцита анкеритом. При этом вторичный анкерит развивается как на контакте зерен кальцита, так и по трещинам хрупкого разрушения, секущим полисинтетические двойники в кальците.

Процесс альбитизации предшествовал рудообразованию, которое наступило лишь после этапа катаклаза и брекчирования альбититов. Крупные идиоморфные длиннопризматические или таблитчатые индивиды рассеяны трещинами различной ориентировки, по которым развиваются прожилки кальцита и доломита. Альбит-карбонатные и карбонатные метасоматиты приурочены к центральным



**Рис. 5. Проявления группы Ромпас (Финляндия)**

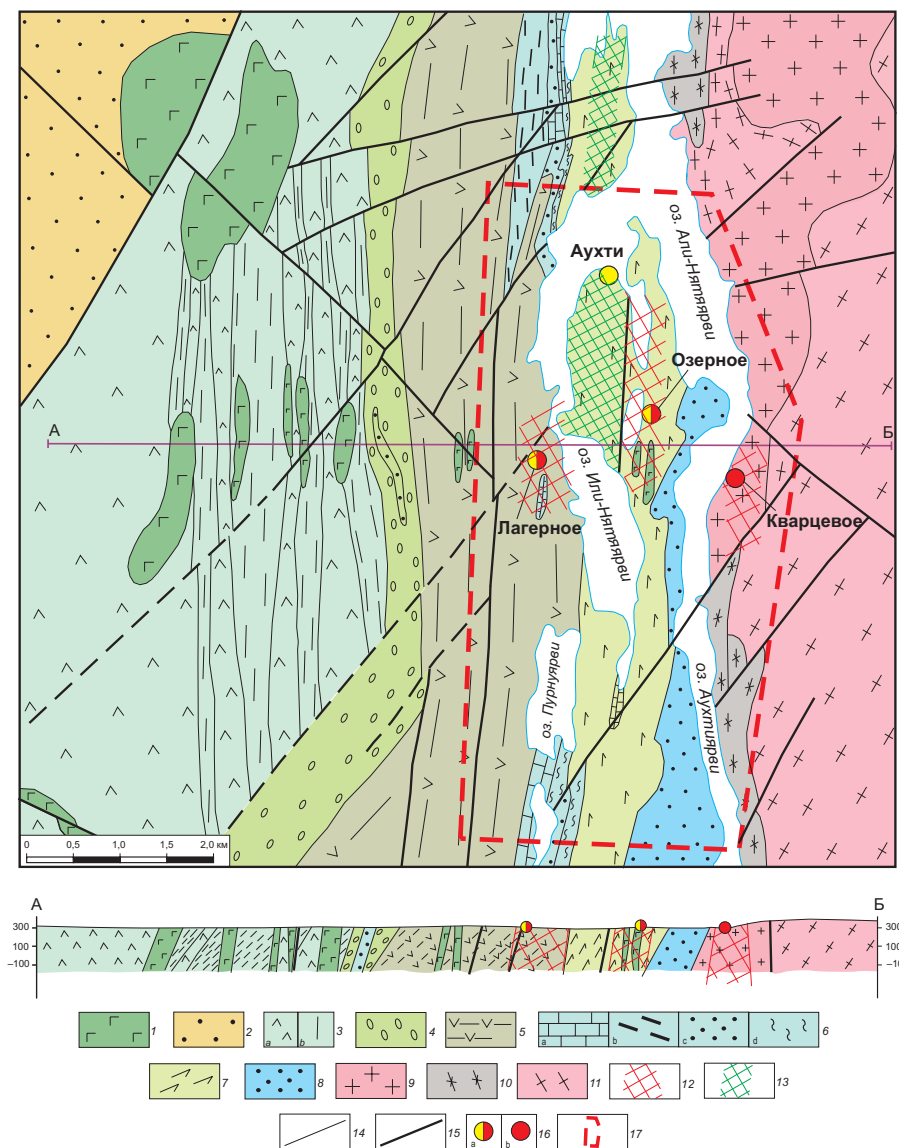
*a* — развитие золота, хунчунита ( $\text{Au}_2\text{Pb}$ ), алтаита ( $\text{PbTe}$ ) по микротрещинам в уранините; *b* — развитие золота в интерстициях между мелкими субагрегатами уранинита

Источник: *a* — по F. Molnár [et al.] [8]

**Fig. 5. Manifestations of the Rompas group (Finland)**

*a* — development of gold, hunchunite ( $\text{Au}_2\text{Pb}$ ), altaite ( $\text{PbTe}$ ) along microcracks in uraninite; *b* — development of gold in interstices between small subaggregates of uraninite

Source: *a* — by F. Molnár [et al.] from [8]



**Рис. 6. Схема геологического строения участка Озерный**

1–5 — верхний карелий: 1 — долериты и габбро-долериты; 2 — кварциты, кварцитопесчаники кайларской свиты; 3–5 — лудиковый: 3 — апаравинская свита: метавулканы основного и среднего состава (а), кварц-биотитовые, кварц-биотит-амфиболовые сланцы (b); 4 — полимиктовые конгломераты ноукоярвинской свиты; 5 — амфиболовые, кварц-биотит-амфиболовые, кварц-плагиоклаз-биотитовые сланцы, туфосланцы кясиярвинской свиты; 6–8 — нижний карелий, ятулий: 6 — юрхамаярвинская свита: известняки доломитовые, тремолит- и актинолитсодержащие с линзами хлорит-биотитовых сланцев (а); пачка переслаивания биотитовых, кварцполевошпатовых филлитовидных сланцев с прослоями углеродистых и углеродсодержащих (черных) сланцев (b); кварциты серицитовые, кварцитопесчаники (c); песчаники, кварцитопесчаники и серицитовые сланцы по ним (d); 7 — метадиабазы, метагаббро, кварц-амфиболовые, биотитовые, биотит-амфиболовые, нилуттиярвинской свиты; 8 — кварциты, кварцитопесчаники, металавровиты ниваярвинской свиты; 9, 10 — комплекс реоморфических гранитов (верхний архей): 9 — микроклиновые и плагиомикроклиновые, биотитовые граниты; 10 — гнейсы биотитовые, биотит-амфиболовые, амфиболовые с прослоями лептитов челозерской свиты; 11 — кестеньский мигматит-плагиогранитовый комплекс (верхний лопий): гранито-гнейсы и гнейсо-граниты; 12 — зоны гидротермально-метасоматических изменений; 13 — зоны прожилкового окварцевания; 14 — геологические границы; 15 — разрывные нарушения; 16 — рудопоявления золото-уранового (а) и уранового (b) оруденения; 17 — участок детальных работ «Озерный»

**Fig. 6. Diagram of the Ozerny area geological structure**

1–5 — Upper Karelian: 1 — dolerites and gabbro-dolerites; 2 — Kailari Formation quartzites, quartzite sandstones; 3–5 — Ludicovi: 3 — Apajarvi Formation: metavolcanites of basic and intermediate composition (a), quartz-biotite, quartz-biotite-amphibole schists (b); 4 — Noukojarvi Formation polymictic conglomerates; 5 — Kasjarvi Formation amphibole, quartz-biotite-amphibole, quartz-plagioclase-biotite schists, tuff schists; 6–8 — Lower Kareli, Jatuli: 6 — Yurhamajarvi Formation: dolomite limestones, tremolite- and actinolite-containing with lenses of chlorite-biotite schists (a); interbedded member of biotite, quartz-feldspar phyllitic schists with interlayers of carbon and carbonaceous (black) schists (b); sericite quartzites, quartzite-sandstones (c); sandstones, quartzite-sandstones and sericite schists on them (d); 7 — Niluttjarvi Formation metadiabases, metagabbros, quartz-amphibole, biotite, biotite-amphibole; 8 — Nivajarvi Formation quartzites, quartzite-sandstones, metasiltstones; 9, 10 — Upper Archean rheomorphic granite complex: 9 — microcline and plagiomicrocline, biotite granites; 10 — Chelozero Formation biotite, biotite-amphibole, amphibole gneisses with interlayers of leptites; 11 — Upper Lopian Kestenga migmatite-plagiogranite complex: granite-gneisses and gneiss-granites; 12 — zones of hydrothermal-metasomatic alterations; 13 — zones of veinlet silicification; 14 — geological boundaries; 15 — faults; 16 — ore occurrences of gold-uranium (a) and uranium (b) mineralization; 17 — Ozerny site of detailed works

Таблица 1

**Сравнительная характеристика проявленности рудоконтролирующих факторов рудных объектов Куусамо-Панакюляярвинского прогиба (Северная Карелия), поясов Куусамо и Перапохиа (Финляндия)**

Table 1. Comparative analysis of ore-controlling factors visibility in the ore objects of the Kuola-Panajarvi trough (Northern Karelia), Kuusamo and Parapohia belts (Finland)

| Факторы                                         | Россия                                                                                                                                                              | Финляндия                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Примеры месторождений                           | Озерное, Лагерное, Альбит-1, Алим-Курсуярви                                                                                                                         | Юомасуо, Хангаслампи, Конттиахо, Пахъясваара                                                                                                                                  | Проявления группы Ромпас                                                                                                                     |
| Тип месторождений                               | U, Au-U, с Cu, Mo, Co в альбитовых, карбонат-альбитовых метасоматитах (Озерное, Лагерное); в совмещенных карбонат-альбитовых и карбонатных метасоматитах (Альбит-1) | Fe-Co-Au-U в альбитовых, карбонат-альбитовых метасоматитах (Конттиахо), Fe-Co-Au-U в кварц-серицитовых, кварц-хлоритовых метасоматитах с альбитовыми метасоматитами (Юомасуо) | Au-U минерализация в кварц-карбонатных жилах среди альбитизированных биотитовых и амфиболитовых сланцев                                      |
| Литологические (вмещающие породы)               | Биотитовые, амфибол-биотитовые углеродистые и углеродсодержащие сланцы ятулия и людиковия                                                                           | Серицитовые кварциты, сланцы, хемогенные кварциты ятулия, углеродсодержащие сланцы людиковия                                                                                  | Карбонатные породы, черные и слюдяные сланцы, метавулканыты                                                                                  |
| Структурные (рудоконтролирующие структуры)      | Зоны глубинных разломов (Озерное, Лагерное); зоны складчатых и сопряженных с ними разрывных нарушений, антиклинальные складки (Алим-Курсуярви)                      | Зоны брекчий (Конттиахо), зоны пластических деформаций (shear-зоны) (Юомасуо)                                                                                                 | Зоны складчатых нарушений, сопряженные с зонами сдвиговых деформаций                                                                         |
| Гидротермально-метасоматические (тип изменений) | Альбитизация, альбит-карбонатные метасоматиты                                                                                                                       | Биотитизация, хлоритизация, серицитизация, альбитизация, карбонатизация                                                                                                       | Биотитизация с локальными зонами сильной альбитизации, карбонатизация; возникновение асфальтенов                                             |
| Магматические                                   | Дайки долеритов, габбродолеритов, амфиболитизированных габбродолеритов, лейкогаббро                                                                                 | Лейкогаббро, горнблендиты, граниты, лейкограниты                                                                                                                              | Дайки и силлы основного состава; турмалиносодержащие позднеорогенные и посторогенные граниты                                                 |
| Рудная минерализация                            | Уранинит, браннерит, золото, алтаит, мелонит, молибденит, пирит, пирротин, кобальтин, Со-пентландит, халькопирит                                                    | Пирротин, пирит, магнетит, кобальтин, Со-пентландит, халькопирит, уранинит, ильменит, золото, рутил, теллуриды, висмутиды, молибденит                                         | Уранинит, самородное золото, хунчуит, галенит, алтаит и никелин, мальдонит, молибденит, кобальтин, пирротин, пентландит, пирит и халькопирит |
| Текстурные особенности руд                      | Прожилковые, прожилково-вкрапленные                                                                                                                                 | Прожилковые                                                                                                                                                                   | Вкрапленные                                                                                                                                  |

частям тел альбититов, где образуют прожилки мощностью до 15–20 см, а также обособления, отделенные от альбититов тонкой зоной развития вторичного розеточного хлорита с аномально-зелеными цветами интерференции и биотита. Кальцит в жилах характеризуется изометричными формами зерен и наличием полисинтетических двойников. Отмечаются включения мелкочешуйчатого (0,03–0,05 мм) хлорита, заполняющего веерообразные «остаточные» полости в кальците. Зачастую по кальциту развивается актинолит. Игольчатые формы выделения актинолита свидетельствуют о метасоматической природе его образования в условиях быстрого роста.

Следующая стадия гидротермально-метасоматических изменений пород связана с проявлением магнезиально-железистого метасоматоза. Это выра-

жается в образовании метасоматических микропрожилков мелкозернистого (0,01–0,03 мм) вторичного карбоната (железистого анкерита) в агрегате железистого кальцита. Анкерит также развивается в оторочках жил раннего кальцита в карбонат-альбитовом метасоматите.

По результатам работ, нацеленных на изучение особенностей рудообразования на рудопроявлении Озерное, установлены две стадии образования рудной минерализации, разделенные сульфидной подстадией: (1) молибден-урановая в альбит-карбонатных метасоматитах и (2) теллуридно-селенидно-благороднометаллическая в анкеритовых, кварц-анкеритовых гидротермалитах [7].

Первая рудная (молибден-урановая) стадия связана с альбититами, альбит-карбонатными метасоматитами с кальцитовыми прожилками выполнения



среди альбит-карбонатных метасоматитов; вторая теллуридно-селенидно-благороднометалльная стадия — с проявлением наложенных низкотемпературных анкеритовых (с кварцем) изменений. Более поздняя рудная стадия проявлена кварц-сульфидными жилами с самородным золотом (месторождение Майское). В эту стадию включены две генерации золоторудной минерализации: слабозолотоносная сфалерит-пирротин-халькопиритовая и продуктивная золотоносная теллуридно-галениитовая.

Урановая минерализация на рудопроявлении Озерное представлена главным образом уранинитом, а также браннеритом, локализованным в кальцитовом цементе альбит-карбонатных брекчий центральных частей рудоносных зон; помимо уранинита и браннерита в раннюю рудную ассоциацию входит коффинит. Зерна уранинита находятся в окружении кальцита; по периферии развит альбит с прожилками доломита и анкерита. Зачастую вмещающие урановую минерализацию породы брекчированы до образования альбит-кальцитовой брекчии, в которую погружены зерна уранинита.

В рудоносных зонах рудопроявления Озерное широко развита разнообразная сульфидная минерализация (молибденит, галенит, пирит, реже пирротин). Молибденит развит в виде тонкопластинчатых и розеточных агрегатов и отдельных пластинок в доломит-кальцитовом метасоматите. Золотая минерализация по составу, морфологии и особенностям локализации аналогична установленной на месторождениях группы Ромпас (рис. 7, а). Уранинит из рудных зон рудопроявления Озерное разбит густой системой разноориентированных микротрещин, по которым развиваются прожилки, состоящие из сростков самородного золота с алтаитом размером 0,03 мм (рис. 7, б, 8, а).

Зерна самородного золота установлены также в карбонатной брекчии в ассоциации с уранинитом, алтаитом, теллуридами висмута и мелонитом. Золото выделяется в виде зерен неправильной формы в сростании с алтаитом — рис. 8, б. Алтаит представляет собой зерна ярко-белого цвета размером до 0,1 мм, которые развиты в виде ксеноморфных кристаллов (рис. 8, б) или заполняют промежутки между плоскостями спайности в молибдените. Зерна мелонита размерами 0,015–0,2 мм образуют сростания с алтаитом; в состав мелонита входят: Те — до 82 %, Ni — 15,6 %. Со — 2 %. Золото по составу высокопробное; содержание серебра — от 0,01 до 6,9 %, содержание золота — 93,3–99,9 %.

Близкая к описываемой ассоциация рудных минералов характерна для рудоносных зон рудопроявления Алакертти, расположенного к северу от рудопроявления Озерное, где зерна браннерита рассеяны микротрещинами, по которым развиваются алтаит и галенит; последний наблюдается также во вмещающих рудные тела альбит-карбонатных метасоматитах. На рудопроявлении Озерное выявлены также жилы кварцевого с сульфидами состава, аналогичные по формам выделения сульфидов и условиям формирования кварцевых жил месторождения Майское. Сульфидная минерализация в них представлена скоплениями (до 10 %)

крупнозернистого халькопирита, по трещинам в котором развивается гипидиоморфный пирит.

Содержания U в борздовых пробах из альбит-карбонатных метасоматитов рудоносных зон рудопроявления Озерное достигают 0,1 % на 0,5 м, Мо — 0,2 % на 0,7 м, Ag — 0,44 г/т, Bi — 14,5 г/т на 0,7 м. Содержание Au в штучных пробах из альбититов и альбит-карбонатных метасоматитов достигает 1 г/т, в борздовых пробах — 0,1 г/т на 0,7 м, 0,5 г/т на 0,5 м. Содержание золота в штучных пробах из сульфидно-кварцевых жил рудопроявления Озерное достигает 20,5 г/т; помимо золота есть Cu — 2,72 %, Ag — 3,11 г/т. Содержание Au в борздовых пробах из сульфидно-кварцевой жилы достигает 0,7 г/т на 1 м. Содержание золота во вторичных ореолах рассеяния достигает от 0,1 до 1,0 г/т и более. Аномальные содержания золота сопровождаются аномалиями Ag, Cu, Co, Mo, As. В штучных пробах из катаклазированных и брекчированных альбититов рудопроявления Лагерное содержание Au достигает 1,18 г/т; в карбонатных и амфибол-карбонатных с альбитом метасоматитах ядерной части рудоносной зоны Au — 5,51 г/т.

Формирование минерализации происходило в течение длительного отрезка времени: от палеопротерозоя до палеозоя. Rb-Sr возраст формирования альбититов оценен в  $1754 \pm 39$  млн лет, U-Pb методом —  $1627 \pm 42$  млн лет, что отвечает эпохе свекофенской складчатости [14]. Возраст браннерита, определенный U-Pb методом, составляет  $385 \pm 2$  млн лет, что соответствует проявлению палеозойской активизации [14].

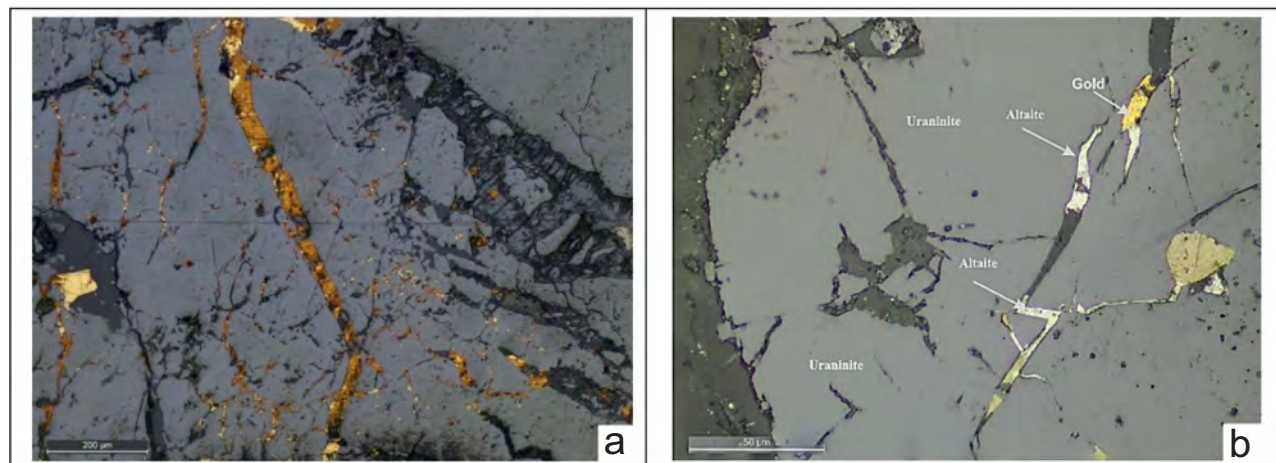
Перспективы выявления уранового, золото-уранового оруденения в пределах Куусамо-Панакуолярвинского прогиба и в структурах, близких к нему по структурно-вещественным обстановкам, не ограничиваются собственно рудопроявлениями Озерное и Лагерное. Вскрытый скважинами, пробуренными АО «Северо-Западное ПГО» к северу от рудопроявлений Озерное и Лагерное, раннепротерозойский разрез характеризуется большой гетерогенностью, обусловленной чередованием метаморфизованных раннепротерозойских метабазальтов, метаандезитов-базальтов, метатрахизитов-базальтов, подчиненно — метадацитов, метаплагиоориодацитов в ассоциации с интрузивными телами ультрабазитов, дайками карбонатитов и «молодыми» дайками плагиодацитов.

Среди вскрытых скважинами пород отмечается интенсивное проявление трещиноватости, дробления и брекчирования, контролирующего проявление различных метасоматитов, которые отнесены к следующим потенциально рудоносным гидротермально-метасоматическим формациям: 1 — альбититы, 2 — эйситы, 3 — листовениты, 4 — аргиллизиты и 5 — анкеритовые гидротермалиты, по минеральному составу близкие к формации гумбеитов.

В одной из скважин (№ 5, интервал 62–65 м) выявлены зоны метасоматических изменений, крайне похожие на альбититы рудоносных зон рудопроявлений Лагерное и Озерное. В телах альбититов проявлены секущие их и вмещающие

породы — метасоматические прожилки анкерита. В альбитите отмечается большое количество рудных минералов, тяготеющих к зоне контакта с амфиболитами. Рудная минерализация представлена преимущественно пиритом с включениями халькопирита. Альбититы выступают в качестве поискового признака близости рудоносных зон. С проявлением более поздних низкотемпературных анкеритовых изменений может быть связано золотое оруденение.

В керне изученных скважин широким распространением пользуется фациальная разновидность эйситов с устойчивым минеральным парагенезисом: кварц (10–20, до 50 %) + доломит (50–80 %) + альбит (10–15 %) + биотит или флогопит (10–30 %) + клинохлор. Эйситы проявлены преимущественно в виде жил и прожилков выполнения, минеральный состав которых определяется различными соотношениями карбоната (доломит, кальцит), кварца, альбита, биотита или флогопита.

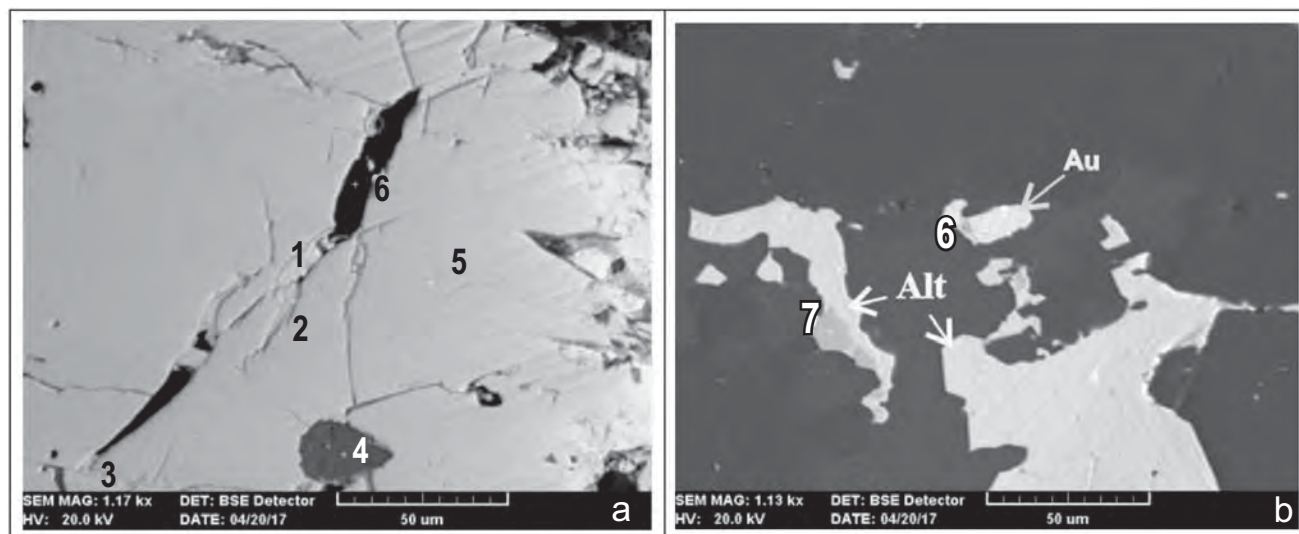


**Рис. 7. Характер Au-U минерализации**

*a* — на проявлениях группы Ромпас (Финляндия); *b* — на рудопроявлении Озерное (Карелия)

**Fig. 7. Nature of Au-U mineralization**

*a* — Rompas group occurrences (Finland); *b* — Ozeroye ore occurrence (Karelia)



**Рис. 8. Рудопроявление урана Озерное**

*a* — уранинит-золоторудная ассоциация в микротрещинах в уранините: 1 — золото, 2, 3 — алтаит, 4 — халькопирит, 5 — уранинит. Фото аншлифа 7725/4-1; *b* — уранинит-золоторудная ассоциация с алтаитом (6) и мелонитом (7) в карбонатной брекчии. Фото шлифа 7725/4-2

**Fig. 8. Ozeroye uranium ore occurrence**

*a* — uraninite-gold ore association in microcracks in uraninite. 1 — gold, 2, 3 — altaite, 4 — chalcopyrite, 5 — uraninite. Polished section photo 7725/4-1; *b* — uraninite-gold ore association with altaite (6) and melonite (7) in carbonate breccia. Thin section photo 7725/4-2

Прожилки выполнения располагаются в основном параллельно сланцеватости, реже занимает секущее положение по отношению к сланцеватости. Рудная минерализация, представленная преимущественно пиритом, халькопиритом, пирротинном, тяготеет к зонам развития эйситовых прожилков выполнения мощностью от 0,3–0,5 до 10–15 см.

По данным аналитических исследований, в ряде штучных проб, отобранных в зонах развития эйситов, установлены содержания золота — от геохимических аномалий (0,18–0,35 г/т) до уровня рудных концентраций (0,99–14,0 г/т). В аншлифах, отобранных из рудоносных эйситов, установлены выделения самородного золота. Зерна золота размером свыше 5 мкм чаще всего включены в жильные породообразующие минералы или локализируются на границе жильных минералов.

Низкотемпературные анкеритовые метасоматиты являются наиболее поздними гидротермалитами, развитыми по всем разновидностям кристаллических пород, включая тела гипербазитов и плагиодацитов.

В ассоциации с анкеритом встречаются тонкощуйчатая магнезиально-железистая слюда, серицит, смектиты. По минеральному составу они близки к формации гумбеитов, однако даже при их развитии в породах кислого состава не был обнаружен адуляр, что, возможно, связано с низкой интенсивностью их проявления.

Таким образом, по результатам работ разных лет, направленных на изучение рудоносности, в том числе золотоносности Куусамо-Панакуолярвинского прогиба в его пределах установлены следующие рудные ассоциации (табл. 2): (1) мезотермальная (уранинит)-торит-браннеритовая ассоциация, связанная с альбититами гастингситовой фации, развитая в пределах рудных зон рудопроявлений Лагерное, Алакерттинское, Алим-Курсуярви; (2) мезотермальная молибденит-уранинит-браннеритовая ассоциация, связанная с альбититами биотит-клинохлоровой фации, выявленная на рудопроявлении Озерное. В составе этой ассоциации преобладает уранинит,

развитый в виде отдельных зерен и их скоплений; наблюдается браннерит в виде ксеноморфных выделений в альбит-карбонатной породе, отмечается настуран. Наряду с урановой формируется сульфидная минерализация, включающая молибденит, пирит, халькопирит, галенит. Молибденит зачастую наблюдается в виде мелких включений в уранините или образует самостоятельные зерна сферолитоподобной формы. К рудным ассоциациям относятся также: (3) мезотермальная золото-пирит-пирротин-халькопиритовая ассоциация в кварцевых жилах выполнения во вмещающих альбититовых породах. На рудопроявлениях Озерное, Лагерное, Алакертти выявлены кварцевые с сульфидами жилы, аналогичные по составу, формам выделения сульфидов и условиям формирования кварцевых жил месторождения Майское; (4) мезотермальная золото-пирит-пирротин-халькопиритовая ассоциация, связанная с метасоматитами биотит-клинохлор-альбит-доломит-кварцевого состава, которые отнесены нами к эйситами. В штучных пробах из керна скважин, пробуренных в центральной части рудного узла, к северу от участка Озерное–Лагерное, установлены содержания золота от аномальных (0,18–0,35 г/т) до уровня рудных концентраций (0,99–14,0 г/т); (5) эпитеpmальная золото-селенидно-теллуридная ассоциация, связанная с кварц-майкит-анкеритовыми метасоматитами, имеющими наложенный характер по отношению к рассмотренным выше рудным ассоциациям, связанным с альбититами и эйситами.

Прогнозные ресурсы золота Куолярвинского рудного узла оценивались по категории  $P_3$  в 60 т. Они сосредоточены в пределах трех площадей, соответствующих рудным полям — Алим-Курсуярвинской (90 км<sup>2</sup>), Майской (100 км<sup>2</sup>), Нилуттиярвинской (85 км<sup>2</sup>) — рис. 2. В 2018 г. В рамках проведения ГДП-200 прогнозные ресурсы золота Куолярвинского рудного узла оценены по категории  $P_3$  в 18 т. Наблюдаемое несоответствие связано, вероятно, с неполным учетом особенностей рудоносности территории исследований по сравнению с объектами-аналогами группы Ромпас, сопредельной территории Финляндии.

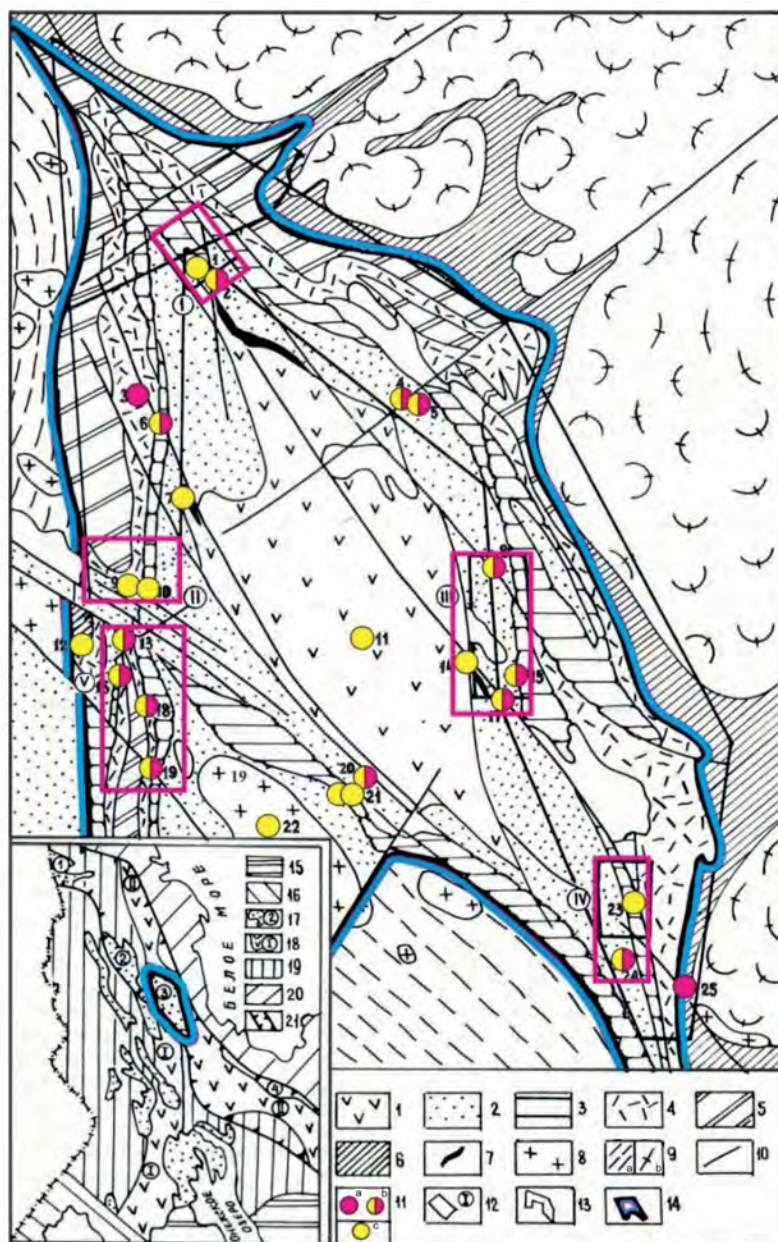
Таблица 2

Рудные ассоциации Куолярвинского рудного узла

Table 2. Ore associations of the Kuolajarvi ore cluster

| Рудная ассоциация                                    | Рудовмещающие образования (минеральные парагенезисы)                           | Примеры рудных объектов                                          |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Мезотермальная (уранинит)-торит-браннеритовая        | Альбититы гастингситовой фации ( $Пл_{5-10} + Гаст + До$ )                     | Рудопроявления Лагерное, Алакерттинское                          |
| Мезотермальная молибденит-браннерит-уранинитовая     | Альбититы биотит-клинохлоровой фации ( $Пл_{5-10} + Би_{зел} + Хл_{А3} + До$ ) | Рудопроявление Озерное                                           |
| Мезотермальная золото-пирротин-халькопиритовая       | Кварцевые жилы выполнения                                                      | Рудопроявления Озерное, Лагерное, Алакерттинское, Алим-Курсуярви |
| Мезотермальная золото-пирит-пирротин-халькопиритовая | Эйситы ( $Кв + Пл_{0-5} + До \pm Би_{зел} \pm Хл_{А3} \pm Хл_{АС}$ )           | Пункты минерализации в скважинах 5, 6, 7                         |
| Эпитеpmальная золото-селенидно-теллуридная           | Кварц-майкит-анкеритовые метасоматиты ( $Анк \pm Мк \pm Кв$ )                  | Рудопроявления Озерное, Лагерное(?), Алакерттинское(?)           |





**Рис. 9. Лехтинская структура. Схема геологического строения с положением участков, перспективных на золотое, золото-урановое оруденение**

1, 2 — ятулий: вулканогенные (1), терригенно-осадочные (2) образования; 3 — вулканогенные, осадочно-вулканогенные породы сариолия; 4 — вулканы кислого состава сумия; 5 — вулканы основного-среднего состава сумия(?); 6 — сланцы разного состава лопия; 7 — долериты, габбро-долериты; 8 — граниты; 9 — плагиограниты, мигматит-граниты (a), тоналиты, диориты, гранодиориты (b); 10 — разломы; 11 — рудопоявления и проявления: урановые (a), золото-урановые (b), золотые (c); участки, перспективные на обнаружение золотого, золото-уранового оруденения: Колгева (I), Хохлозеро (II), Риговарака (III), Пайозеро (IV), Железные Ворота (V); 13 — контур Лежевской площади, в пределах которой проводились поисковые работы на золото (2009 г.); 14 — контур Лехтинской раннепротерозойской структуры; 15 — платформенный чехол; 16 — Свекофенский складчатый пояс; 17–19 — Карельская гранит-зеленокаменная область: 17 — ятулий, суйсарий, вепсий нерасчлененные, 18 — сумий, сариолий нерасчлененные, 19 — комплекс архейского основания; 20 — Беломорская гранулит-гнейсовая область; 21 — границы Восточно-Карельской структурной зоны

Источник: по Е. Н. Афанасьевой [и др.] [15]

**Fig. 9. Lekhta structure. Geological structure diagram, with promising areas of gold, gold-uranium mineralization located**

1, 2 — Jatuli: volcanogenic (1), terrigenous-sedimentary (2) formations; 3 — Sariolian volcanogenic, sedimentary-volcanic rocks; 4 — Sumian felsic volcanites; 5 — Sumian(?) mafic-intermediate volcanites; 6 — Lopian shales of different composition; 7 — dolerites, gabbro-dolerites; 8 — granites; 9 — plagiogranites, migmatite-granites (a), tonalites, diorites, granodiorites (b); 10 — faults; 11 — ore occurrences and occurrences of uranium (a), gold-uranium (b), gold (c); promising areas of gold and gold-uranium mineralization: Kolgevara (I), Khokhlozero (II), Rigavaraka (III), Payozero (IV), Iron Gates (V); 13 — outline of the Lezhevskaya area, which involved prospecting work for gold in 2009; 14 — outline of the Lekhta Early Proterozoic structure; 15 — platform sedimentary cover; 16 — Svecofennian Fold Belt; 17–19 — Karelian granite-greenstone region: 17 — Jatuli, Suisari, Veps undissected, 18 — Sumi, Sarioli undissected, 19 — Archean basement complex; 20 — Belomorskaya granulite-gneiss region; 21 — boundaries of the East Karelian structural zone

Source: by E. N. Afanaseva [et al.] from [15]

Лехтинская структура, расположенная в пределах Восточно-Карельской зоны, к юго-востоку от Куусамо-Панакуоляярвинской структуры, также перспективна на золотое, золото-урановое оруденение (рис. 9). Структура характеризуется широким развитием потенциально перспективных на золото вулканитов кислого состава сумия, среднего состава сариолия, интенсивным проявлением складчатых и сопряженных с ними разрывных нарушений, проявлением золотоконтролирующих минеральных ассоциаций: пирит-кварц-биотитовых в вулканитах кислого состава сумия, парагенезисов с карбонатом и мусковитом в туфогенно-осадочной тоще сариолия, мусковитовых, серицит-мусковитовых в ятулийских песчаниках и гравелитах ятулия.

Проявления золотой, урановой и золото-урановой минерализации размещаются на разных стратиграфических уровнях, среди метасоматически измененных конгломератов и гравелитов ятулия (Риговарака, Кичу-Лампи и др.), базальных конгломератов (Железные Ворота) и вулканитов среднего состава (Колгевара, Хохлозеро-1 и др.) сариолия, вулканитов кислого состава сумия (Чуруж, Пайозеро), интрузивных пород основного состава (Хохлозеро-2, Шуезеро и др.).

В пределах Лехтинской структуры выделены участки, перспективные на выявление золотого, золото-уранового оруденения, — Колгеварский, Хохлозерский, Риговаракский, Пайозерский, Железноворотинский — рис. 9. Рудные объекты в пределах Колгеварского и Хохлозерского участков приурочены к ядерным частям антиклинальных складок, осложненных зонами рассланцевания и брекчирования, и размещаются среди вулканитов среднего состава сариолия на контакте с песчаниками ятулия (рудопроявление Колгевара) или с кварцевыми порфирами и кератофирами сумия (рудопроявление Хохлозера). Содержание золота в метасоматически измененных вулканитах достигают 2,0–2,5 г/т, в жилах сульфидно-кварцевого состава, составляющих центральные части рудоносных зон, 4,0–4,5 г/т. Золото-урановые проявления Риговаракского участка локализованы в зонах катаклаза и милонитизации, прослеживающихся по простиранию на 50–100 м при мощности от 0,5 до 1,5 м и развитых среди кварцевых конгломератов и гравелитов ятулия. Рудная минерализация представлена самородным золотом и уранинитом. Содержания золота колеблются от 0,2–0,4 до 2,0–2,5 г/т, достигая в единичных пробах 16–17 г/т; содержания урана составляют 0,007 % на мощность 0,4–0,6 м. Золотопроявления Пайозерского участка размещаются среди вулканитов кислого состава сумия и локализованы преимущественно в приконтактных частях субвулканических интрузий. Содержание золота в метасоматически измененных вулканитах кислого состава достигает 4–6 г/т, в кварцевых, сульфидно-кварцевых жилах — 43 г/т.

Авторские прогнозные ресурсы золота по категории  $P_3$  составляют: 18,8 т (участок Хохлозерский), 15,7 т (участок Колгеварский), 10,1 т (участок Риговаракский), 7,2 т (участок Пайозерский) (рис. 9); прогнозные ресурсы урана для Лехтинской структуры,

по данным ГП «Невскгеология», оцениваются по категории  $P_3$  в 15 тыс. т (В. В. Титов, 1999). Полученная количественная оценка ресурсов золота на золотых и золото-урановых объектах требует уточнения в ходе дальнейших исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе комплексного анализа имеющихся данных можно сделать вывод, что наиболее перспективными на выявление уранового и комплексного уранового оруденения в пределах российской части Балтийского щита являются зоны предрифейского структурно-стратиграфического несогласия и зоны складчато-разрывных дислокаций. К структурам, наиболее перспективным на выявление промышленных месторождений урана, относятся Паша-Ладожский грабен и Онежский прогиб.

Золото-урановые объекты сегодня играют ключевую роль в формировании минерально-сырьевой базы золота и урана в пределах докембрийских щитов, в том числе и Балтийского щита. Прогнозные ресурсы золота на объектах этого типа составляют около 30 % от общих прогнозных ресурсов восточной части Балтийского щита [4]. Связь золота и урана на рудных объектах не всегда очевидна; чаще всего они совмещены в пространстве, но разорваны во времени, как это наблюдается на проявлениях Озерное и Лагерное. Временная последовательность формирования золотого и уранового оруденения должна изучаться в ходе дальнейших исследований.

Для решения вопроса практической значимости золото-уранового оруденения разных типов необходимо продолжить изучение Куусамо-Панакуоляярвинского прогиба, Лехтинской и других раннепротерозойских структур, которые являются частью шовной, наиболее проницаемой и рудонасыщенной Восточно-Карельской рифтогенной зоны, других структурно-вещественных обстановок Балтийского щита, на основе проведения ревизионных, тематических и поисковых работ, нацеленных на изучение масштабов золото-уранового оруденения и создания рудно-генетической модели его формирования.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасьева Е. Н., Миронов Ю. Б. Металлогения урана Балтийского щита // Разведка и охрана недр. 2015. № 10. С. 82–88.
2. Уран Балтийского щита: пространственно-временные закономерности размещения / Е. Н. Афанасьева [и др.] // Международная конференция «Геохимия урана 2003». Нанси, Франция, 2003. С. 27–29.
3. Грушевой Г. В., Миронов Ю. Б., Иванова Т. А. Ураноносность чехла Русской платформы // Региональная геология и металлогения. 2007. № 32. С. 28–39.
4. Металлогенический потенциал урана Северо-Западного региона Российской Федерации / В. А. Михайлов [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2007. № 32. С. 20–27.
5. Урановорудный потенциал России 2015–2035 гг. / Г. А. Машковцев [и др.] // Минеральное сырье. Вып. 33. М.: ВИМС, 2017. 118 с.

6. Металлогения урана Онежско-Ладжской провинции / В. А. Михайлов [и др.] // Региональная геология и металлогения. 1999. № 8. С. 65–81.
7. Кушнеренко В. К. Перспективы промышленной ураноносности Северо-Западного региона Российской Федерации // Научно-практический семинар «Проблемы сырьевого обеспечения атомной отрасли». СПб., 2004. С. 32–41.
8. Особенности уран-золоторудных проявлений группы Ромпас и объекта Палокас (Северная Финляндия) / Н. А. Гребенкин [и др.] // Разведка и охрана недр. 2015. № 5. С. 11–17.
9. Association of gold with uraninite and pyrobitumen in the metavolcanic rock hosted hydrothermal Au-U mineralization at Rompas, Peräpohja Schist Belt, northern Finland / F. Molnár [et al.] // Mineralium Deposita. 2016. Vol. 51. P. 681–702. <https://doi.org/10.1007/s00126-015-0636-6>.
10. Vanhanen E. Cobalt, gold and uranium-bearing mineralization and their relation to deep fractures in the Kuusamo. Espoo, Finland: Geological Survey of Finland, 1998. P. 91–97.
11. Vanhanen E. Geology, mineralogy and geochemistry of the Fe-Co-Au (U) deposits in the Paleoproterozoic Kuusamo Schist Belt, northeastern Finland. Espoo, Finland: Geological Survey of Finland, 2001. 283 p.
12. Этапы формирования урановой минерализации Салла-Куоляярвинской зоны (Северная Карелия): геологические и изотопно-геохронологические данные / А. А. Калинин [и др.] // Записки РМО. 2015. Т. 144, № 2. С. 99–108. URL: [https://disk.yandex.ru/i/fitD\\_ifX4EHxfQ](https://disk.yandex.ru/i/fitD_ifX4EHxfQ) (дата обращения: 11.10.2024).
13. Афанасьева Е. Н., Миронов Ю. Б. Перспективы выявления золото-урановых месторождений в пределах Куоляярвинского прогиба (Северная Карелия) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов: сб. тезисов докладов IX Междунар. науч.-практ. конф. М., 2019. С. 68–69.
14. Миронов Ю. Б., Афанасьева Е. Н. Золото-урановая минерализация в районе Куусамо-Панаярви (Фенноскандинавский щит) // 13-е SCA совещание. Нанси, Франция, 2015. Т. 5. С. 1843–1845.
15. Афанасьева Е. Н., Миронов Ю. Б. Потенциал золото-уранового оруденения Балтийского щита и перспективы его реализации // Разведка и охрана недр. 2022. № 8. С. 46–53.
2. Uranium of the Baltic Shield: Spatiotemporal patterns of placement / E. N. Afanasyeva. *International Conference "Geochemistry of Uranium 2003"*. Nancy, France; 2003, P. 27–29. (In Russ.).
3. Grushevoy G. V., Mironov Yu. B., Ivanova T. A. Uranium potential of the Russian platform cover. *Regional Geology and Metallogeny*. 2007; (32): 28–39. (In Russ.).
4. Uranium potential of the Northwestern region of the Russian Federation / V. A. Mikhailov [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2007; (32): 20–27. (In Russ.).
5. Uranium ore potential of Russia 2015–2035 / G. A. Mashkovtsev [et al.]. *Mineral Stock*. Iss. 33. Moscow: VIMS; 2017. 118 p. (In Russ.).
6. Uranium metallogeny of the Onega-Ladoga province / V. A. Mikhailov [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 1999; (8): 65–81. (In Russ.).
7. Kusherenko V. K. Prospects for industrial uranium content in the northwestern region of the Russian Federation. *Scientific workshop "Problems of raw material supply for the nuclear industry"*. St. Petersburg; 2004, pp. 32–41. (In Russ.).
8. Peculiarities of the uranium-gold occurrences at Rompas Group and Palokas site (Northern Finland) / N. A. Grebenkin [et al.]. *Prospect of Mineral Resources*. 2015; (5): 11–17. (In Russ.).
9. Association of gold with uraninite and pyrobitumen in the metavolcanic rock hosted hydrothermal Au-U mineralization at Rompas, Peräpohja Schist Belt, northern Finland / F. Molnár [et al.]. *Mineralium Deposita*. 2016; 51: 681–702. <https://doi.org/10.1007/s00126-015-0636-6>.
10. Vanhanen E. Cobalt, gold and uranium-bearing mineralization and their relation to deep fractures in the Kuusamo. Espoo, Finland: Geological Survey of Finland; 1998. P. 91–97.
11. Vanhanen E. Geology, mineralogy and geochemistry of the Fe-Co-Au (U) deposits in the Paleoproterozoic Kuusamo Schist Belt, northeastern Finland. Espoo, Finland: Geological Survey of Finland; 2001. 283 p.
12. Stages in formation of uranium mineralization in the Salla-Kuolajarvinskaya zone (Northern Karelia): geological and isotope geochronological data / A. A. Kalinin [et al.]. *Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*. 2015; 144 (2): 99–108. URL: [https://disk.yandex.ru/i/fitD\\_ifX4EHxfQ](https://disk.yandex.ru/i/fitD_ifX4EHxfQ) (accessed 11.10.2024). (In Russ.).
13. Afanasyeva E. N., Mironov Yu. B. Prospects for identifying gold-uranium deposits within the Kuolajarvinsky trough (North Karelia). *Proceedings of the IX International scientific conference "Scientific and methodological basis for forecasting, prospecting, and evaluating deposits of diamonds, precious and non-ferrous metals"*. Moscow; 2019. P. 68–69. (In Russ.).
14. Mironov Yu. B., Afanasyeva E. N. Gold-Uranium mineralization in the Kuusamo-Panajärvi region (Fennoscandian Shield). *13<sup>th</sup> SCA Meeting*. Nancy, France. 2015; 5: 1843–1845. (In Russ.).
15. Afanaseva E. N., Mironov Yu. B. Potential of gold-uranium mining of the Baltic Shield and prospects for its implementation. *Prospect of Mineral Resources*. 2022; (8): 46–53.

## REFERENCES

### Елена Николаевна Афанасьева

Кандидат геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0006-6546-3841>  
Scopus Author ID 57817229000  
SPIN-код РИНЦ 5011-4689  
[Elena\\_Afanasyeva@karpinskyinstitute.ru](mailto:Elena_Afanasyeva@karpinskyinstitute.ru)

### Elena N. Afanaseva

PhD (Geology and Mineralogy)  
Leading Researcher

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0006-6546-3841>  
Scopus Author ID 57817229000  
RSCI SPIN-code 5011-4689  
[Elena\\_Afanasyeva@karpinskyinstitute.ru](mailto:Elena_Afanasyeva@karpinskyinstitute.ru)



## Юрий Борисович Миронов

Доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, заведующий отделом

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0003-6307-7531>  
SPIN-код РИНЦ 1684-4186  
yuri\_mironov@karpinskyinstitute.ru

## Анастасия Александровна Петрова

Геолог первой категории, аспирант

Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0006-2914-6064>  
anastasiya\_petrova@karpinskyinstitute.ru

## Александр Владимирович Козлов

Доктор геолого-минералогических наук,  
доцент, заведующий кафедрой геологии  
и разведки месторождений полезных ископаемых

Санкт-Петербургский горный университет императрицы  
Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

ORCID 0000-0002-8759-4088  
Scopus ID 10042352300  
ResearcherID AAC-8847-2020  
SPIN-код РИНЦ 2298-4976  
akozlov@spmi.ru

## Yuriy B. Mironov

DSc (Geology and Mineralogy), Head of Department

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0003-6307-7531>  
RSCI SPIN-code 1684-4186  
yuri\_mironov@karpinskyinstitute.ru

## Anastasiya A. Petrova

First Category Geologist, Postgraduate Student

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0006-2914-6064>  
anastasiya\_petrova@karpinskyinstitute.ru

## Aleksandr V. Kozlov

DSc (Geology and Mineralogy),  
Associate Professor, Head, Department of Geology  
and Exploration of Mineral Deposits

Saint-Petersburg Mining University,  
Saint Petersburg, Russia

ORCID 0000-0002-8759-4088  
Scopus ID 10042352300  
ResearcherID AAC-8847-2020  
RSCI SPIN-code 2298-4976  
akozlov@spmi.ru

---

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 12.08.2024  
Одобрена после рецензирования 02.11.2024  
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 12.08.2024  
Approved after reviewing 02.11.2024  
Accepted for publication 28.12.2024

Научная статья

УДК 552.321.1/.4:553.43'411(470)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_165-179

**Ключевые слова:** алмаз, минералы-индикаторы кимберлитов, кимберлитовое поле, Анабарский кристаллический массив, северо-восток Сибирской платформы

**Для цитирования:** Бураков Б. Е., Голобурдина М. Н., Граханов С. А. Перспективы коренной алмазоносности Анабарского массива // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 165–179. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_165-179](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_165-179)

Original article

UDC 552.321.1/.4:553.43'411(470)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_165-179

**Keywords:** diamond, kimberlite indicator minerals, kimberlite field, Anabar crystalline massif, northeastern Siberian platform

**For citation:** Burakov B. E., Goloburdina M. N., Grakhanov S. A. Prospects for primary diamond potential of the Anabar Massif. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024; 31 (4): 165–179. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_165-179](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_165-179)



© Б. Е. Бураков, М. Н. Голобурдина,  
С. А. Граханов, 2024

## Перспективы коренной алмазоносности Анабарского массива

Б. Е. Бураков<sup>1</sup>, М. Н. Голобурдина<sup>1✉</sup>, С. А. Граханов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,  
[Marina\\_Goloburdina@karpinskyinstitute.ru](mailto:Marina_Goloburdina@karpinskyinstitute.ru)✉

<sup>2</sup>АЛМАР — алмазы Арктики, Якутск, Россия

**Аннотация.** Впервые изучены типоморфные особенности пикроильменитов, пиропов и шпинелидов из аллювия верховья руч. Лёгий, правого притока р. Налим-Рассоха. Подтверждено обоснование красноярских геологов (1984 г.) на локализацию нового кимберлитового поля на Анабарском массиве, в бассейне рек Налим-Рассоха и Улахан-Старая. Показаны характерные поверхности ассоциации минералов, подтверждающие их принадлежность к первичному ореолу минералов-индикаторов кимберлитов. Установлены пикроильмениты, сопоставимые по составу с включениями в алмазах и алмазоносных перидотитов, отсутствующие в аллювии рек Большая Куонамка и Баргыдамалаах, дренирующих неалмазоносные кимберлитовые поля. Количественное соотношение пиропов лерцолитового (86 %) и дунит-гарцбургитового (11 %) парагенезисов типично для кимберлитов. Шпинелиды происходят из глубинных ультрамафитовых пород и основной массы кимберлитов. Прогнозируется обнаружение нового Рассохинского алмазоносного кимберлитового поля на Анабарском массиве, в бассейне рек Налим-Рассоха и Улахан-Старая.

## Prospects for primary diamond potential of the Anabar Massif

B. E. Burakov<sup>1</sup>, M. N. Goloburdina<sup>1✉</sup>, S. A. Grakhanov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia, [Marina\\_Goloburdina@karpinskyinstitute.ru](mailto:Marina_Goloburdina@karpinskyinstitute.ru)✉

<sup>2</sup>ALMAR — diamonds of the Arctic, Yakutsk, Russia

**Abstract.** There is a novel study of typomorphic features of picroilmenites, pyropes, and spinelides from the alluvium of the Legkiy Creek's upper reaches, the right tributary of the Nalim-Rassokha River. Presence of a new kimberlite field in the Anabar Massif, in the basin of the Nalim-Rassokha and Ulakhan-Staraya rivers, confirms Krasnoyarsk geologists' arguments (1984). Characteristic surfaces of mineral associations prove to pertain to the primary halo of kimberlite indicator minerals. Picroilmenites comparable to inclusions in diamonds and diamond-bearing peridotites are absent in the alluvium of the Bolshaya Kuonamka and Bargydamalaakh rivers draining non-diamond-bearing kimberlite fields. The quantitative ratio of pyropes of lherzolite (86 %) and dunite-harzburgerite (11 %) parageneses is typical of kimberlites. The spinelides association originates from deep ultramafic rocks and the groundmass of kimberlites. There are grounds for discovering a new Rassokha diamond-bearing kimberlite field in the Anabar Massif, in the basin of the Nalim-Rassokha and Ulakhan-Staraya rivers.

## ВВЕДЕНИЕ

На Анабарском кристаллическом массиве известно с десятков россыпных проявлений и два крупных россыпных месторождения алмазов, которые активно отрабатываются. Но ни проявления, ни месторождения россыпных алмазов не привязаны к коренным источникам, хотя в нижнем течении р. Большая Куонамка открыто более 100 кимберлитовых тел, в том числе около 10 убогоалмазоносных трубок и даек Старореченского и Ары-Мастахского полей триасового и юрского возрастов [1]. В настоящее время есть несколько точек зрения на формирование россыпи р. Большая Куонамка. Наиболее распространено мнение, что россыпь была сформирована за счет размыва многочисленных слабоалмазоносных тел, указанных выше полей<sup>1–4</sup>. По расчетам С. А. Прокопьева, из глубоко эродированных (не менее 1000 м) многочисленных убогоалмазоносных кимберлитовых тел Куонамской кимберлитоконтролирующей зоны было освобождено не менее 100 млн каратов алмазов, из которых в бассейнах рек Большая Куонамка и Малая Куонамка сохранилось около 10 млн каратов. Остальные алмазы были вынесены за их пределы и сформировали россыпи Эбеляхской алмазоносной площади. Не вдаваясь в дискуссионность расчетов глубины мезозойского эрозионного среза и подсчета высвободившихся алмазов, следует заметить, что алмазы из кимберлитовых тел и россыпей различаются. Во всех кимберлитовых телах Куонамской минерагенической зоны, как и во всех кимберлитах Сибирской провинции, преобладают ламинарные кристаллы, доля округлых алмазов невелика, а камни V и VII разновидностей (эбеляхский тип) отсутствуют [2] (табл. 1). В россыпях же доминируют округлые камни, включая камни V–VII разновидностей, а доля ламинарных индивидов мала. Кроме того, алмазы всех типов россыпи р. Большая Куонамка сортированы, выделяются высоким средним весом и сильно изношены, что противоречит их поступлению из коренного источника (табл. 2).

Ряд ученых [5] считают, что возраст куонамских алмазов докембрийский. Основанием для этого послужили фиксация на ряде кристаллов пятен пигментации, характерных для алмазов докембрийского возраста, и находки пиропов в лабазтахской (мукунской) свите.

В. П. Афанасьев [6] докембрийским возрастом датирует только алмазы V–VII разновидностей, коренные источники которых, по его мнению, тяготеют к выходам древних кристаллических пород. Фактически это не совсем так. Например, в аллювии р. Большая Куонамка доля алмазов эбеляхского типа как раз невелика — 8,8 % (табл. 1) по сравнению с россыпями, которые расположены в полях развития палеозойских пород и удалены от древних массивов на сотни километров: Ыраас-Юрях — 57 %; Холомолоох — 54 %; Чомурдах — 30 %; Укукит — 30 %; Моторчуна — 25 % [7]. В дальнейшем, по включению рутила в алмазы V–VII разновидностей из промышленных россыпей бассейна р. Эбелях, сам автор докембрийской гипотезы [8] установил палеозойский возраст кристаллов.

У нас сложилось иное мнение: россыпи Анабарского массива формировались за счет размыва древних промежуточных коллекторов [3] и частично за счет прогнозируемых кимберлитов в центральной части щита [4]. В пользу этого свидетельствуют следующие факты: россыпные проявления алмазов в аллювии р. Большая Куонамка, которая с притоками дренирует весь массив, пространственно совпадают с площадями выходов на уровень современного среза гравелитов рифейской юस्ताхской и вендской старореченской свит; с признаками древности на части кристаллов [5]; повышенной крупностью, хорошей сортированностью и сильным износом камней (табл. 2). В нижнем течении р. Большая Куонамка значительную роль играли более молодые коллекторы алмазов мезозойского и кайнозойского возрастов, что отразилось на значительном привносе кристаллов эбеляхского типа. Различие типоморфных особенностей алмазов обусловлено сложной геологической историей формирования россыпи в результате многократной перестройки гидросети [3].

Что же говорит за наличие коренных источников в центральной части Анабарского массива? Еще в 1960-х годах геологом Куонамской партии Амакинской экспедиции<sup>3</sup> было отмечено, что в среднем течении р. Большая Куонамка на кристаллах алмазов не фиксируются следы механического износа, и средний вес камней резко падает. Позднее, в 1980-е годы в среднем и верхнем течениях р. Большая Куонамка минерагеническое картирование масштаба 1 : 200 000 выполняло научно-производственное объединение «Аэрогеология» (Л. И. Шахотько, В. А. Истомин). При заверке космофотоаномалий в районе устьев рек Хардах, Хатырык и Сербия были открыты кимберлитовые тела. Кимберлитовые тела были датированы (по U–Pb): дайка Дюймовочка 2 — 229 млн лет, дайка Хатырык 3 — 224 млн лет [9]; трубка Сербиян (по Rb–Sr) — 224 млн лет [10]. Следует отметить, что триасовый возраст кимберлитов значительно повышает шанс открытия потенциально-промышленных коренных месторождений, т. к. расположенная в относительной близости трубка Малокуонамская имеет аналогичный возраст и при средней продуктивности содержит спектр высоко-сортных алмазов.

В 1986 г. Амакинская экспедиция в среднем течении р. Большая Куонамка выполняла тематические работы (С. А. Граханов), которые сопровождались

<sup>1</sup> Результаты поисковых работ в бассейне р. Старая и верховьях р. Попигай. Отчет о работах партии № 11, 14 Анабарской экспедиции в 1959 г. / Е. И. Подкопаев [и др.]. Л. : НИИГА, 1960.

<sup>2</sup> Отчет о результатах поисковых работ на алмазы в бассейне нижнего и среднего течения р. Большая Куонамка за 1964 г. / Е. Д. Черный [и др.]. Нюрба : Амакинская ГРЭ, 1965.

<sup>3</sup> Отчет о результатах поисковых работ на алмазы в бассейнах нижнего и среднего течений рек Большая и Малая Куонамка за 1963–1967 гг. / А. И. Крючков [и др.]. Нюрба : Амакинская ГРЭ, 1968.

<sup>4</sup> Отчет о результатах поисков коренных месторождений алмазов на северо-восточном склоне Анабарского щита (бассейн реки Большая Куонамка) в 1995–2001 гг. / С. А. Прокопьев. Айхал : Амакинская ГРЭ, 2001.



Таблица 1

Типоморфные особенности алмазов из кимберлитов, россыпи р. Большая Куонамка и сопредельной россыпи р. Эбелях  
Table 1. Typomorphic features of diamonds from kimberlites, the Bolshaya Kuonamka River placer, and the Ebelyakh River adjoining placer

| Наименование объектов                                   | Разновидности алмазов [9], % |                    |                  |       |                          |      |     |     |                |      |
|---------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------|------------------|-------|--------------------------|------|-----|-----|----------------|------|
|                                                         | I                            |                    |                  |       |                          | II   | III | IV  | V+VII          | VIII |
|                                                         | ламинарные                   | округлые           |                  |       | сумма I<br>разновидности |      |     |     | эбеляхский тип |      |
|                                                         |                              | уральского<br>типа | жильного<br>типа | сумма |                          |      |     |     |                |      |
| Кимберлитовые поля, трубки                              |                              |                    |                  |       |                          |      |     |     |                |      |
| Дюкенское поле, T <sub>3</sub>                          | 52,4                         | 7,8                | 3,9              | 11,7  | 89,3                     | 0,0  | 1,0 | 4,8 | 0,0            | 4,8  |
| Куранахское поле,<br>тр. Малокуонамская, T <sub>3</sub> | 64,0                         | 4,8                | 9,6              | 14,4  | 97,6                     | 2,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0            | 0,4  |
| Четвертичные россыпи                                    |                              |                    |                  |       |                          |      |     |     |                |      |
| Река Большая Куонамка                                   | 13,8                         | 35,8               | 23,2             | 59,0  | 78,4                     | 11,1 | 0,4 | 1,3 | 8,8            | 0,0  |
| Река Эбелях, Q <sub>н</sub>                             | 14,1                         | 16,2               | 20,3             | 36,5  | 62,9                     | 3,6  | 0,2 | 0,5 | 30,9           | 0,2  |

Источник: составлено С. А. Грахановым [3] по материалам В. И. Коптиля и Б. С. Помазанского (Амакинская экспедиция и НИГП АК «АЛРОСА») Source: adapted by S. A. Grakhanov [3] from V. I. Koptil and B. S. Pomazanskiy's data (Amakin expedition and the ALROSA's Research Geological Enterprise)

Таблица 2

Механический износ алмазов из россыпей бассейна р. Большая Куонамка  
Table 2. Mechanical wear of diamonds from placers of the Bolshaya Kuonamka River basin

| Наименование россыпи            | Всего изучено алмазов | Типы первоисточников [9] и износ [5] всего алмазов, шт/износ (%) |           |          |            |
|---------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------|-----------|----------|------------|
|                                 |                       | ламинарный                                                       | уральский | жильный  | эбеляхский |
| Левые притоки Большой Куонамки  | 201                   | 42/16,7                                                          | 48/10,4   | 37/24,3  | 31/47,0    |
| Большая Куонамка                | 579                   | 130/21,5                                                         | 228/10,1  | 108/12,0 | 46/28,3    |
| Правые притоки Большой Куонамки | 380                   | 113/23,0                                                         | 99/14,1   | 71/16,9  | 35/37,1    |

Источник: составлено С. А. Грахановым на основе [2; 4] по материалам аналитика В. И. Коптиля (Амакинская экспедиция) Source: adapted by S. A. Grakhanov from [2; 4], including the analyst V. I. Koptil's data (Amakin expedition)

специализированным опробованием на алмазы. Хотя кимберлитовые тела еще не были открыты, но точки космофотоаномалий НПО «Аэрогеология» (Л. И. Шахотько) были известны, поэтому на реках Сербейн и Оюр-Юрях было отобрано около 20 шлихов и две мелкообъемные пробы. В обеих пробах были найдены алмазы без каких-либо следов механического износа. На р. Сербейн найдено два алмаза весом 44,9 мг и на р. Оюр-Юрях — один алмаз весом 1,3 мг (алмазы находятся в коллекции ПАО «АЛРОСА»). Данные находки алмазов оторваны от последних находок алмазов в аллювии р. Большая Куонамка более чем на 100 км и, по существу, ограничивают ее алмазоносность на западе. Было

установлено, что по своему химическому составу пикроильменит из аллювия р. Сербейн резко отличался высокой хромистостью от своих аналогов из неалмазоносных юрских трубок Прианабарья. Приблизительно в эти же годы красноярскими геологами<sup>1</sup> в северной части Анабарского массива был выявлен яркий ореол минералов-индикаторов

<sup>1</sup> Куликов Ю. П. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна реки Налим-Рассоха. Отчет по групповой геологической съемке масштаба 1 : 50 000 в северной части Анабара, в пределах Билляхской зоны. ПГО «Красноярскгеология», ГСЭ. Красноярск, 1984.

кимберлитов (далее — МИК) в бассейне р. Налим-Рассоха при проведении Красноярскгеологией геологической съемки масштаба 1 : 50 000 в 1984 г. Наиболее контрастная аномалия МИК (пикроильменит, пироп, хромдиопсид) была приурочена к верховью руч. Лёгкий, она свидетельствует о наличии в непосредственной близости продуктивных кимберлитовых тел, на что указывает присутствие пиропов алмазной ассоциации. По их данным было установлено, что кимберлитовые минералы представлены пиропом, пикроильменитом, магнезиальным оливином, хромдиопсидом и перовскитом. Наличие пиропы отмечается от единичных до первых десятков знаков, он имеет лиловые оттенки, встречен в виде изометричных округлых зерен и осколков размерами 0,5–1,0 мм; у многих зерен зафиксирована первичная матированная поверхность. Пикроильменит наблюдается преимущественно в первых десятках знаков до 1 % с характерным  $MgO$  5,83–8,68 %. Магнезиальный оливин встречен в единичных знаках и до 5 % в отдельных пробах. Хромдиопсид распространен от редких знаков до первых десятков, имеет низкотитанистый ( $TiO_2$  0,03–0,06 %) и низкоглиноземистый ( $Al_2O_3$  1,69–2,91 %) состав с разным содержанием хрома ( $Cr_2O_3$  1,44–3,39 %). Перовскит обнаружен в единичных зернах и десятках знаков до 3 %.

По приведенной информации можно сделать следующие выводы. В центральной части Анабарского массива открыто новое Среднекуонамское кимберлитовое поле триасового возраста, которое не приурочено к Куонамской минерагенической зоне, где установлены преимущественно юрские неалмазоносные трубки (рис. 1). Севернее прогнозируется новое кимберлитовое поле в бассейне рек Налим-Рассоха и Улахан-Старая — Рассохинское.

Следует подчеркнуть, что по структурно-тектоническому критерию вся центральная часть Анабарского массива благоприятна для проявления продуктивного кимберлитового вулканизма, так как находится в пределах стабильного древнего блока фундамента — Далдынского террейна — 3,1 млрд лет [11] с мощной литосферой («правило Клиффорда») [12; 13] (рис. 1).

Для подтверждения перспектив Анабарского массива на коренную алмазоносность в 2022–2024 гг. геологами Института Карпинского были проведены аэрогеофизические работы и шлиховое опробование бассейна р. Налим-Рассоха в этап оценки изученности (Попигайская площадь, R-49-III,IV;IX,X) и дополнительные исследования щелочно-ультраосновных пород Среднекуонамского поля при ГДП-200 (Сергеевская площадь, R-49-XXI,XXII; Куонамская площадь, R-49-XXIII,XXIV).

В бассейне р. Налим-Рассоха в верховьях руч. Лёгкий было подтверждено наличие контрастного ореола МИК, который тяготеет к геофизической аномалии. Данная статья посвящена изучению типоморфных особенностей кимберлитовых минералов данного ореола.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Шлиховая проба № 10512 объемом около 100 л была отобрана в верховьях руч. Лёгкий (рис. 2 и 3).

Отбор пробы производился с глубины 0,2–0,3 м, где были опробованы голубовато-серые глины с обломками кристаллических пород. Промывка проводилась деревянным лотком «сибирского» типа после предварительного отмучивания исходного материала. Выход шлиха составил более 1,1 кг, из которых примерно 1/3 пришлось на общую долю магнитной (120 г) и немагнитной фракций (240 г), а основной вес и объем соответствовал электромагнитной фракции, представленной в основном ильменитом и альмандином.

Предварительная диагностика шлиховых минералов проводилась визуально с помощью бинокулярных микроскопов МБС-10 и Микромед МС-1 при разных источниках света — как светодиодных, так и от лампы накаливания. Фотографии зерен получены при обычном освещении, а также в режиме обратно-рассеянных электронов на сканирующем электронном микроскопе-анализаторе VEGA3 TESCAN. На этом же приборе проводился количественный рентгеноспектральный микроанализ химического состава минералов с последующим пересчетом результатов на окислы и нормированием к 100 %. Рентгенодифракционный анализ оторочек на поверхности зерен ильменита проводился на дифрактометре RAXIS Rapid II (CoK $\alpha$ -излучение, 40 кВ, 15 мА, экспозиция 10 мин).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Район исследования расположен в северной части Анабарского кристаллического массива на междуречьях Налим-Рассоха и Улахан-Старая, где развиты мигматизированные кристаллические породы архея и раннего протерозоя, слагающие субмеридиональные складки, нарушенные раннетриасовыми дайками долеритов. Верховья притоков рек Налим-Рассоха и Улахан-Старая заболочены и перекрыты чехлом делювиально-солифлюкционных образований, состоящих из суглинков с обломками местных ультраметаморфических пироксеновых и двупироксеновых плагиогнейсов. Низовья ручьев и долины рек покрыты развалами глыб кристаллических пород.

В крупнообъемной шлиховой пробе (№ 10512) были выявлены и проанализированы основные МИК: пикроильменит, пироп и хромшпинелид. Следует отметить необычно высокое содержание пикроильменита (8686 знаков) с превалированием в мелком классе крупности ( $-0,5 + 0,25$  мм = 67,8 %;  $-1 + 0,5$  мм = 27,5 %;  $-2 + 1$  мм = 4,1 %;  $+2$  мм = 0,6 %). Механический износ поверхности зерен минимален: 0 класс = 0,4 %, I класс = 24,5 %, II класс = 73,1 % и III класс = 2 %. К примеру, в пробе 10002 в низовьях руч. Лёгкий (рис. 4) в 4 км ниже пробы 1512 концентрации пикроильменита практически на порядок ниже и существенно возрастает степень механического износа зерен, нулевой и первый классы отсутствуют, а второй составляет 71,1 % и третий — 28,6 %, что свидетельствует о том, что жесткий кристаллический плотик ручья способствует быстрому износу зерен. Во фракции  $+1,0$  мм фактически весь ильменит был представлен его магнезиальной разновидностью,

в то время как в основной фракции шлиха –0,5 мм соотношение пикроильменита и ильменита составило ориентировочно (2–4) к (98–96) соответственно. Ниже представлены основные типоморфные особенности исследованных минералов.

**Пикроильменит.** Многочисленные зерна пикроильменита присутствуют в виде обломков с блестящей поверхностью (рис. 5, а), округлых и овальных зерен с шероховатой поверхностью, в основном осложненной мелкоячеатым строением (рис. 5, б–д). Реже встречаются зерна с хорошо выраженным микропирамидальным рельефом (рис. 5, е) и оторочками перовскита (рис. 6). Морфологические особенности зерен пикроильменитов и наличие реакционных кайм перовскита характеризуют сохранившийся первичный рельеф, формирующийся при

взаимодействии с кимберлитовым расплавом, что свидетельствует об отсутствии их механического износа [14].

Исследованные пикроильмениты обладают широкими вариациями химического состава (табл. 3) и условно относятся к средне-, низко- и бесхромистому пикроильменитам. По соотношениям  $MgO-Cr_2O_3$ ,  $MgO-TiO_2$  (рис. 7) и по распределению минералов ильменит  $FeTiO_3$  — гейкелит  $MgTiO_3$  — гематит  $Fe_2O_3$  они сопоставимы с пикроильменитами из кимберлитов (рис. 8, а).

Среднехромистые пикроильмениты преимущественно имеют сравнительно малые концентрации гематитового минерала ( $Cr_2O_3$  2,3–4,0;  $MgO$  10,93–14,8%;  $Fe_2O_{3(минерал)}$  0,2–6,5, редко 8,9–12,0) и содержат примесь  $MnO$  (0–1%), их составы соответствуют

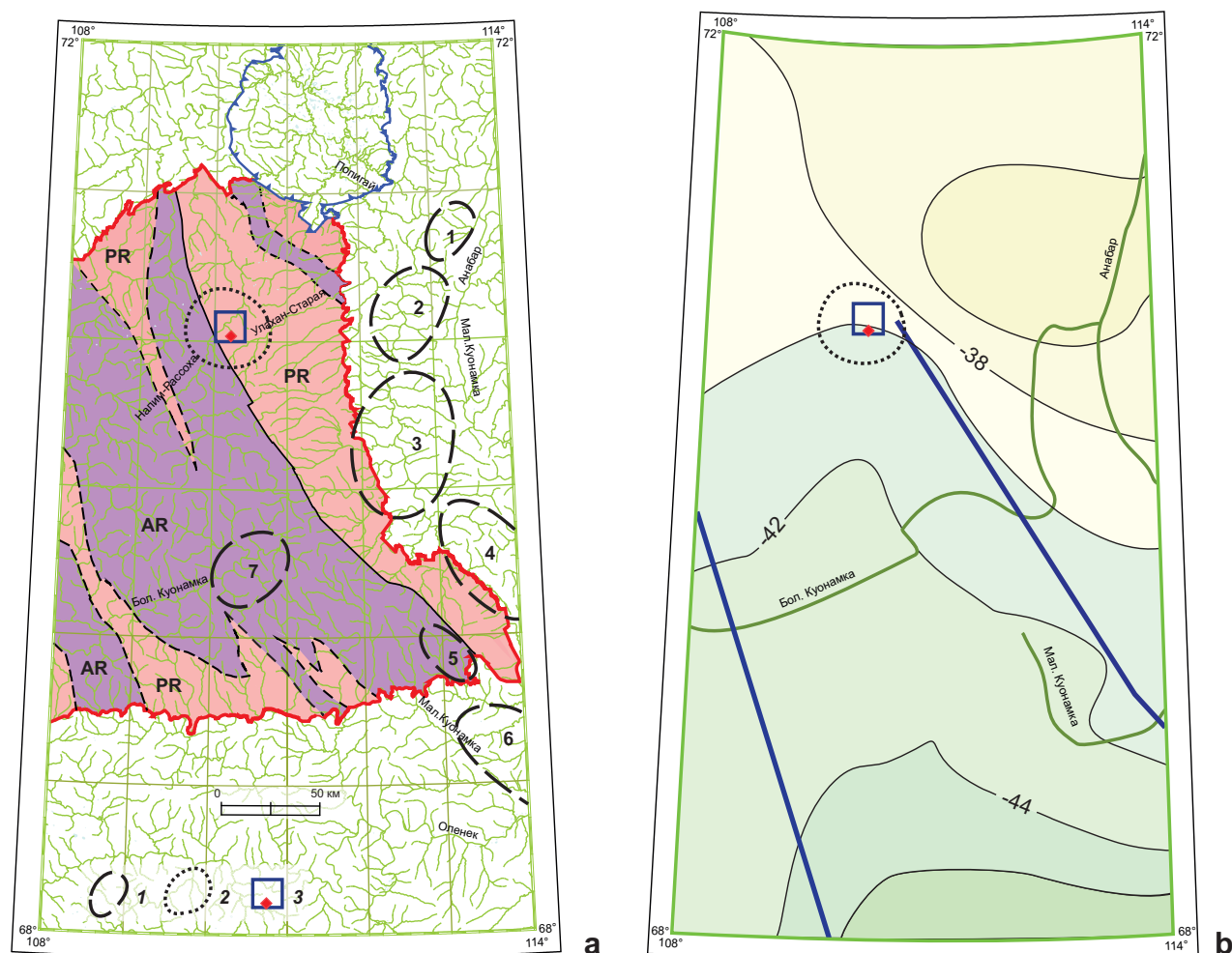


Рис. 1. Положение объекта исследования. а — схема Анабарского алмазоносного района, б — рельеф поверхности Мохоровичича в Анабарском районе по данным геофизического сейсмозондирования с границей глубинных зон (синий контур)

1 — кимберлитовые и карбонатитовые поля: Орто-Благинское (1), Старореченское (2), Ары-Мастахское (3), Дюкенское (4), Биригиндинское (5), Куранакское (6), Среднекуонамское (7); 2 — прогнозируемое Рассохинское кимберлитовое поле; 3 — участок исследований

Источник: по [13]

Fig. 1. Location of the research object. а — diagram of the Anabar diamond-bearing region, б — Moho surface relief in Anabar region according to the geophysical seismic sounding, with the deep zone boundary (blue contour) included

1 — kimberlite and carbonatite fields: Orto-Yrygakh (1), Starorechenskoye (2), Ary-Mastakh (3), Dyukun (4), Birigindinskiy (5), Kuranakh (6), Srednyaya Kuonamka (7); 2 — predicted Rassokha kimberlite field; 3 — research site

Source: from [13]





Рис. 2. Место отбора шлиховой пробы № 10512 в верховьях руч. Лёгкий — общий вид с высоты около 300 м с дрона

Fig. 2. Placer sample No. 10512 site in the Legkiy Creek's upper reaches — drone general view (height of about 300 m)



Рис. 3. Место отбора шлиховой пробы № 10512 в верховьях руч. Лёгкий — общий вид с минимальной высоты, включая расположение полевого лагеря геологов Института Карпинского. Фото с дрона

Fig. 3. Placer sample No. 10512 site in the Legkiy Creek's upper reaches — drone general view (minimum height), including the location of the field camp of the Karpinsky Institute geologists' field camp location

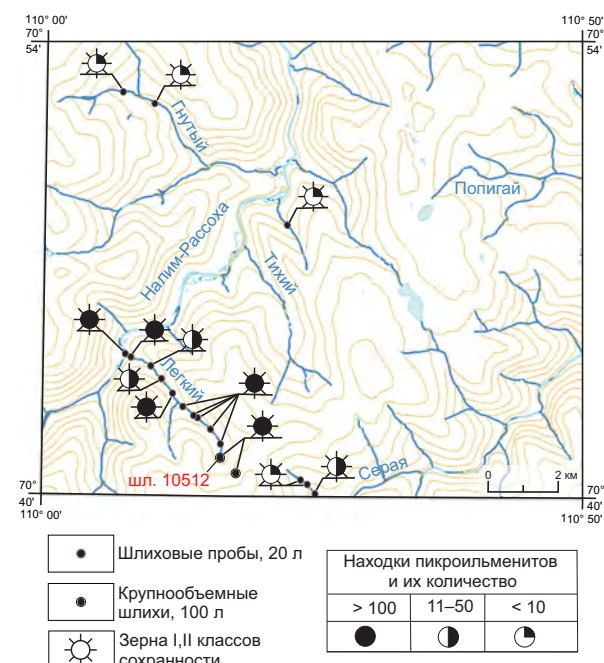


Рис. 4. Распределение пикроильменита в районе руч. Лёгкий по результатам шлихового опробования 2022–2023 гг.

Fig. 4. Distribution of picroilmenite in the Legkiy Creek area after the 2022–2023 placer sampling

пикроильменитам из включений в алмазах (MnO до 0,25 %) и алмазоносных перидотитов (рис. 8, а). Учитывая, что существует корреляция, выраженная в уменьшении степени алмазоносности с увеличением содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и уменьшением MgO, то данные пикроильмениты могут быть отнесены к умеренно- и высокоалмазоносному коренному источнику (рис. 8, б).

Низкохромистые ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  0,1–1,6; MgO 6,38–17,2 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{мин.})$  3,3–18,5 %) и бесхромистые (MgO 5,6–12,6 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{мин.})$  3,3–14,5 %) пикроильмениты по составу в основном отвечают пикроильменитам из неалмазоносных перидотитов и пироксенитов и характерны для низко- и умеренноалмазоносных коренных источников.

Выявленная примесь марганца (MnO 0,4–1,4 %) в редких, наиболее магнезиальных вышеописанных разновидностях пикроильменита (MgO 12,3–17,2) может свидетельствовать об их отношении к карбонатитам, однако примесь марганца в небольших количествах типична для краевых зон пикроильменитов из кимберлитов, образовавшихся в условиях субсолидусной перекристаллизации [15].

Перовскитовый состав реакционных кайм пикроильменита подтвержден рентгенофазовым анализом (рис. 9, а, б). Наблюдаемое макроскопическое различие участков каймы по цвету — светло-бежевые и темно-серые, по аналитическим данным

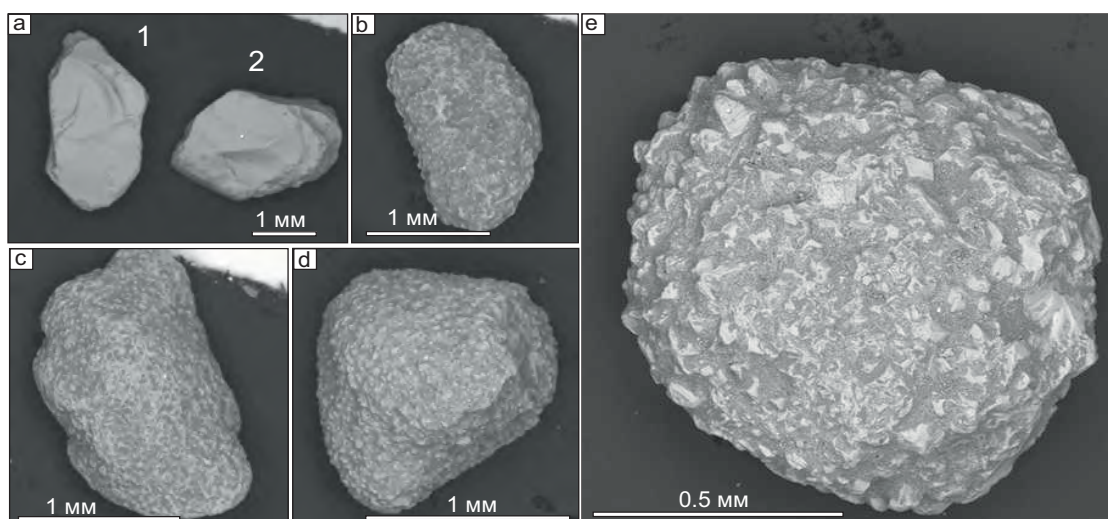


Рис. 5. Морфологические особенности пикроильменитов из шлиховой пробы № 10512 в обратно-отраженных электронах

Fig. 5. Morphological features of picroilmenites from placer sample No. 10512 in back-scattered electrons

обусловлено присутствием примеси шпинелевой фазы до 30 % в последних (рис. 9, b).

Исследованная выборка из верховьев руч. Лёгкий наполовину представлена пикроильменитами, обладающими пониженным  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0–10 %), включая наиболее магнезиальные ( $\text{MgO}$  10,0–17,2 %) и хромистые ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  1,5–4,0 %) разновидности, что значимо их отличает от популяции пикроильменитов ( $\text{MgO}$  до 11 %;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 1,5 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  10–30 %) из аллювия рек Большая Куонамка и Баргыдамалаах, дренирующих неалмазоносные кимберлитовые поля (рис. 7).

**Пироп.** В пробе было обнаружено 4 красно-фиолетовых зерна пироба, представленных преимущественно обломками со свежими сколами, без признаков гипергенной коррозии (рис. 10, a–d). Наибольший интерес представляет зерно с сохранившейся исходной поверхностью — без следов механического износа (рис. 10, d).

По нашим данным и предшественников, в бассейне руч. Лёгкий преобладают пиропы с лерцолитовым парагенезисом (86 %), более редкие составы принадлежат дунит-гарцбургитовым (11 %) и пироксенитовым (первые %) парагенезисам (рис. 11). Подобное количественное соотношение парагенезисов с превалированием лерцолитового типично для кимберлитов.

Важно отметить, что, при исследовании выборки гранатов зерна пироба меняют цвет при смене типа освещения в бинокулярном микроскопе, в отличие от алмандина. Свет лампы накаливания окрашивает пиропы в яркий красно-розовый цвет, а светодиодный осветитель полностью его меняет на серо-фиолетовую. Это свойство может быть использовано для оперативной диагностики пироба в шлихах в присутствии многочисленных зерен алмандина.

**Хромшпинелиды.** Зерна хромшпинелидов смоляно-черного цвета были выделены преимущественно из немагнитной фракции шлиха. Морфология зерен различная: сглаженно-округлая, блокового строения

и субоктаэдрической формы (рис. 12). Для большинства зерен характерна первичная поверхность без признаков механического износа (рис. 12, 13).

Состав исследованных хромшпинелидов различный и коррелирует с их морфологическими особенностями (рис. 12, табл. 4). Выделяется несколько разновидностей шпинелей (рис. 14). Наиболее хромистые разновидности субферрихромиты ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  56,2 %) с низкоглиноземистым ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  6,9–8,2 %) и низкотитанистым ( $\text{TiO}_2$  0,3–0,6 %) составом имеют сглаженно-округлую форму (рис. 12, c, 13) и по этим

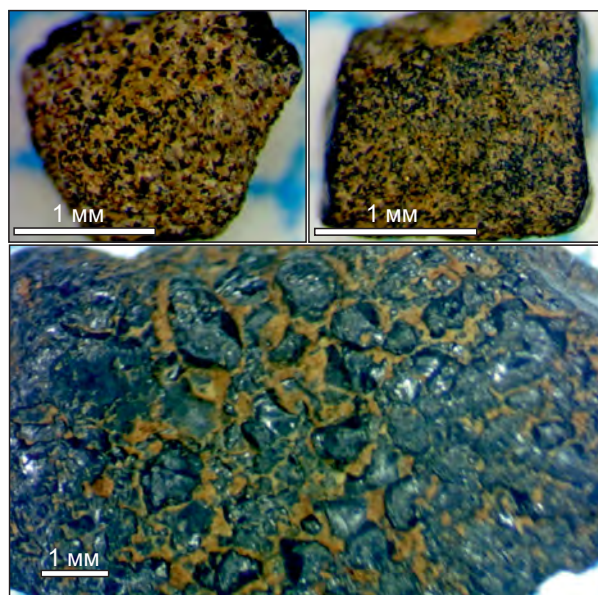


Рис. 6. Оторочки перовскита желто-коричневого цвета на поверхности крупных зерен пикроильменита из шлиховой пробы № 10512 при разном увеличении

Fig. 6. Yellow-brown perovskite margins on the surface of large picroilmenite grains from placer sample No. 10512 at different magnifications

## Химический состав пикроильменита из аллювия верховья руч. Лёгкий (масс. %)

Table 3. Chemical composition of picroilmenite from the alluvium of the Legkiy Creek's upper reaches (wt. %)

| № п/п  | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | MnO  | MgO   | CaO |
|--------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-----|
| 1-д    | —                | 54               | —                              | 0,3                            | 28,1  | 0,4  | 17,2  | —   |
| 2      | —                | 54,62            | —                              | 2,60                           | 26,92 | 1,02 | 14,84 | —   |
| 3-г    | —                | 30,9             | —                              | 3                              | 50,8  | 0,7  | 14,7  | —   |
| 4      | —                | 51,2             | —                              | 2,6                            | 31,4  | 0,4  | 14,5  | —   |
| 5      | —                | 49,5             | —                              | 3,5                            | 33    | 0,4  | 13,5  | —   |
| 6      | —                | 47,7             | —                              | 0,2                            | 38,2  | 0,4  | 13,4  | —   |
| 7      | —                | 56,51            | —                              | 2,83                           | 26,53 | 0,78 | 13,36 | —   |
| 8      | —                | 52,79            | —                              | 3,38                           | 30,52 | —    | 13,31 | —   |
| 9      | —                | 56,53            | —                              | 2,74                           | 27,52 | —    | 13,21 | —   |
| 10     | —                | 57,8             | —                              | 1                              | 127,5 | 0,4  | 13,2  | 0,2 |
| 11     | —                | 55,33            | —                              | 2,82                           | 28,05 | 0,79 | 13,01 | —   |
| 12     | —                | 49,9             | —                              | 0,5                            | 35,9  | 0,5  | 12,8  | 0,4 |
| 13     | —                | 57,27            | —                              | —                              | 28,66 | 1,42 | 12,66 | —   |
| 14-б   | —                | 50,6             | —                              | 0,3                            | 36,1  | 0,3  | 12,6  | —   |
| 15     | —                | 53,1             | —                              | 1,6                            | 32,5  | 0,4  | 12,4  | —   |
| 16     | —                | 55,99            | —                              | 0,00                           | 31,20 | 0,47 | 12,34 | —   |
| 17     | —                | 51,7             | —                              | 1,7                            | 34,6  | 0,5  | 11,6  | —   |
| 18     | —                | 53,2             | —                              | 4                              | 30,9  | 0,5  | 11,5  | —   |
| 19     | —                | 56,84            | —                              | 2,96                           | 29,22 | —    | 10,99 | —   |
| 20     | —                | 54,38            | —                              | 2,32                           | 32,37 | —    | 10,93 | —   |
| 21     | —                | 49,6             | —                              | 0,1                            | 39,7  | 0,4  | 10,2  | —   |
| 22     | —                | 51,61            | —                              | 0,00                           | 37,11 | 1,08 | 10,19 | —   |
| 23     | —                | 53,19            | —                              | 0,82                           | 35,48 | 0,37 | 10,15 | —   |
| 24     | —                | 51,18            | —                              | 0,93                           | 37,98 | —    | 9,91  | —   |
| 25     | 0,5              | 53,7             | 0,7                            | 0,6                            | 33,5  | 0,5  | 9,9   | —   |
| 26     | —                | 52,04            | —                              | 0,76                           | 37,59 | 0,33 | 9,29  | —   |
| 27     | —                | 53,15            | —                              | 0,75                           | 36,44 | 0,38 | 9,28  | —   |
| 28     | —                | 54,4             | —                              | 1,1                            | 34,7  | 0,6  | 9     | 0,1 |
| 29     | —                | 48,1             | —                              | —                              | 43,3  | 0,4  | 8     | —   |
| 30     | —                | 51,86            | —                              | 0,00                           | 40,09 | —    | 8,05  | —   |
| 31     | —                | 52,95            | —                              | 0,00                           | 39,16 | —    | 7,90  | —   |
| 32-а-1 | 0,5              | 47,1             | 0,9                            | 0,4                            | 43,5  | —    | 7,7   | —   |
| 33     | —                | 48,43            | —                              | —                              | 43,97 | —    | 7,60  | —   |
| 34     | —                | 49,5             | —                              | —                              | 42,7  | 0,3  | 7,5   | —   |
| 35     | —                | 51,09            | —                              | 1,61                           | 39,91 | 0,00 | 7,39  | —   |
| 36     | —                | 47,44            | —                              | —                              | 45,42 | 0,00 | 7,13  | —   |
| 37     | —                | 49,49            | —                              | —                              | 43,42 | —    | 7,09  | —   |
| 38     | 0,9              | 48,1             | 0,9                            | 0,6                            | 42    | 0,4  | 7     | —   |
| 39     | —                | 51,7             | —                              | 0,5                            | 40,5  | 0,5  | 6,9   | —   |
| 40-в   | 5,5              | 54,2             | 3,3                            | —                              | 29,2  | 0,9  | 6,9   | —   |
| 41     | —                | 50,02            | —                              | —                              | 43,23 | —    | 6,75  | —   |
| 42     | —                | 50,37            | —                              | —                              | 42,92 | —    | 6,71  | —   |
| 43-а-2 | —                | 47,3             | —                              | 0,3                            | 45,7  | —    | 6,7   | —   |
| 44     | —                | 49,55            | —                              | —                              | 43,75 | —    | 6,70  | —   |
| 45     | —                | 50,70            | —                              | —                              | 42,74 | —    | 6,56  | —   |
| 46     | —                | 50,22            | —                              | —                              | 43,32 | —    | 6,46  | —   |
| 47     | —                | 48,01            | —                              | 0,58                           | 44,98 | —    | 6,42  | —   |
| 48     | —                | 51,59            | —                              | 1,06                           | 40,97 | —    | 6,38  | —   |
| 49     | —                | 50,63            | —                              | —                              | 43,03 | —    | 6,34  | —   |
| 50     | —                | 50,88            | —                              | —                              | 43,05 | —    | 6,07  | —   |
| 51     | —                | 51,98            | —                              | —                              | 41,99 | —    | 6,03  | —   |
| 52     | —                | 49,77            | —                              | —                              | 44,59 | —    | 5,64  | —   |
| 53     | —                | 48,28            | —                              | —                              | 46,11 | —    | 5,61  | —   |
| 54     | —                | 51,04            | —                              | 0,41                           | 43,22 | —    | 5,33  | —   |

Примечание. Буквы и цифры в графе «№ п/п» обозначают составы зерен, приведенных на рис. 5

Note. Letters and numbers in the column "№ п/п" correspond to the grain compositions in fig. 5



признакам соответствуют кристаллам из ультрамафических глубинных пород коэситовой фации. Субферриалюмохромит отличается блоковым строением (рис. 12, *b*), пониженным содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (43 %) и более высоким количеством  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (23 %) и может происходить из катаклазированных дунитов либо лерцолитов. Составы кристаллов шпинелидов, определенные как субальюмоферрихромит и субальюмохром-магнетит имеют наиболее низкие концентрации  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (33,4 и 20,8 %), относительно высокие количества железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  34,0 и 46,9 %) и титана ( $\text{TiO}_2$  7,3 и 13,1 %) при низком уровне  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (9,3 и 6,1 %) с примесью  $\text{MnO}$  и  $\text{ZnO}$  (табл. 4). Подобные составы соответствуют субидiomорфным октаэдрическим хромшпинелидам, распространенным в основной массе кимберлитов (рис. 14). Однако субоктаэдрическая форма характерна лишь для проанализированного субалью-

мохром-магнетита (рис. 12, *d*). Субальюмоферрихромит обладает ксеногенной сглаженно-округлой формой (рис. 12, *a*), позволяющей предполагать, что анализ был получен из краевой реакционной каймы, образовавшейся на кристалле из ультрамафитовых глубинных пород.

Таким образом, исследованные шпинелиды из аллювия руч. Лёгкий представляют собой ассоциацию кристаллов, которые по морфологии и составу являются типичными для отдельных кимберлитовых тел.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые изученные типоморфные особенности пикроильменитов, пиропов и шпинелидов доказывают их принадлежность к минералам-

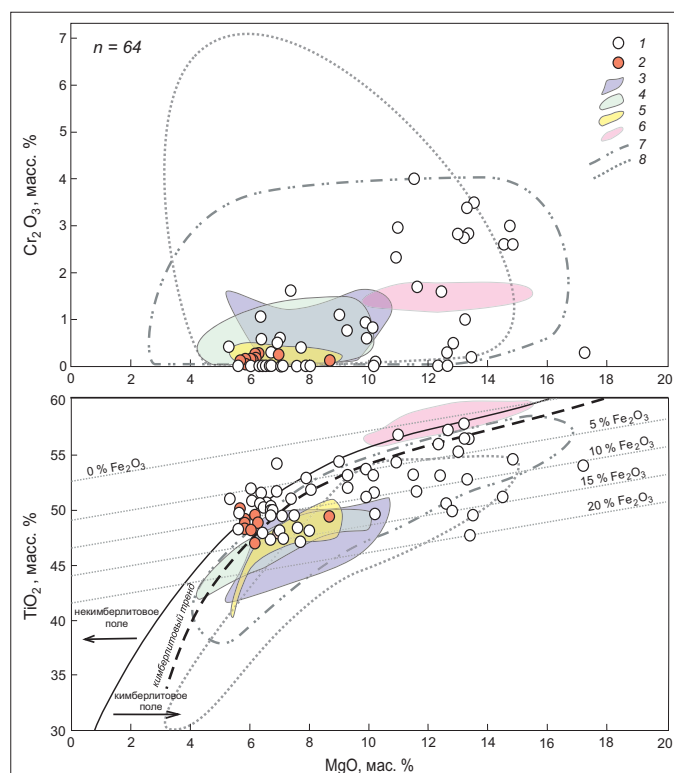


Рис. 7. Распределение  $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  в пикроильменитах долины руч. Лёгкий

1 — пикроильменит из шлиха № 10512; 2 — пикроильменит по данным предшественников. Поля составов пикроильменита: 3–5 — из аллювия р. Сербеян (3), р. Большая Куонамка,  $n = 30$  (4), р. Баргыдамалаах,  $n = 30$  (5); 6 — из глубинных пород: гранатовых перидотитов, гранатовых клинопироксенитов и эклогитов — границы кимберлитового и некимберлитового полей; пикроильменитов из кимберлитов гр. 1, Юж. Африка,  $n = 2338$  (7) и России,  $n = 2629$  (8) — трубки Удачная, Мир

Источник: составлено автором М. Н. Голобурдиной: 2 — на основе отчета\*; 3–5 — [4]; 6 — [16]; границы — [17]

Fig. 7. Distribution of  $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  in picroilmenites of the Legkiy Creek valley

1 — picroilmenite from concentrate No. 10512; 2 — picroilmenite by predecessors' data. Picroilmenite composition fields: 3–5 from the alluvium of the Serbeyan River (3), Bolshaya Kuonamka River,  $n = 30$  (4), Bargydamalaakh River,  $n = 30$  (5); 6 — from the deep rocks: garnet peridotites; garnet clinopyroxenites and eclogites — boundaries of the kimberlite and non-kimberlite fields; picroilmenites from kimberlites of group 1, South Africa,  $n = 2338$  (7) and Russia,  $n = 2629$  (8) — kimberlite pipe Udachnaya, Mir

Source: adapted by the author M. N. Goloburdina: 2 — from the report\*; 3–5 — [4]; 6 — [16]; boundaries — [17]

\*Куликов Ю. П. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна р. Налим-Рассоха. Отчет по групповой геологической съемке масштаба 1 : 50 000 в северной части Анабара в пределах Билляхской зоны. ПГО «Красноярскгеология», ГСЭ. Красноярск, 1984

\*\*Kulikov Yu. P. Geological composition and mineral resources of the Nalim-Rassokha River basin. Report on the group geological survey (scale 1 : 50,000) of the northern Anabar Shield, within the Bilyakh zone. Krasnoyarskgeologiya, GSE. Krasnoyarsk; 1984

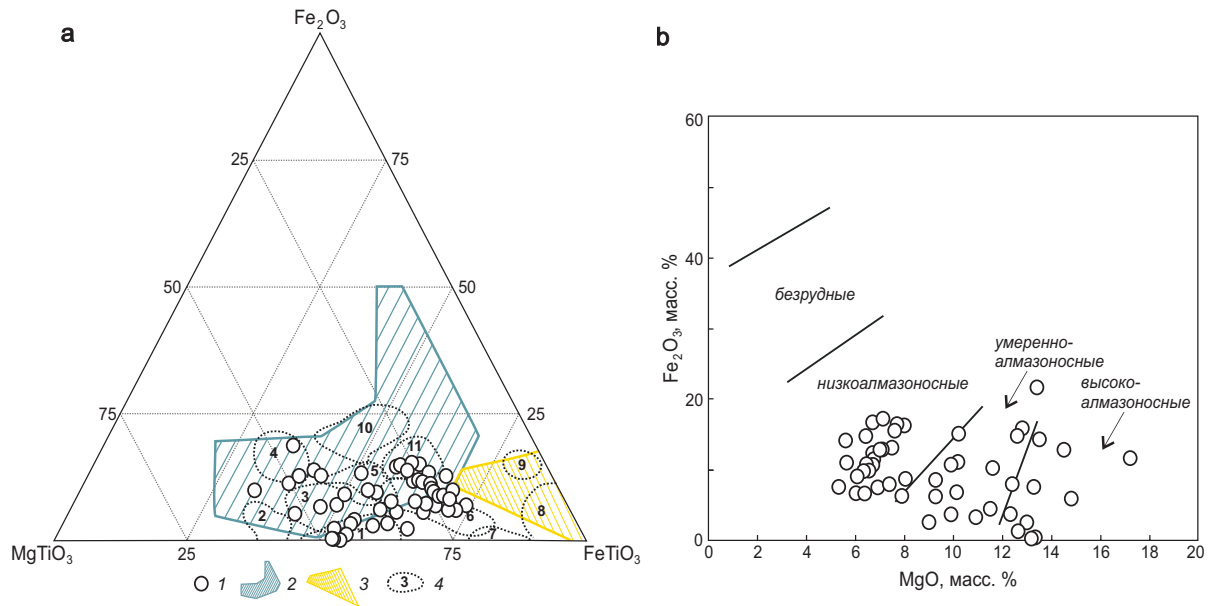


Рис. 8. Диаграммы  $\text{MgTiO}_3\text{--Fe}_2\text{O}_3\text{--FeTiO}_3$  (a) и  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--MgO}$  (b) для пикроильменита из аллювия верховья руч. Лёгий

1 — пикроильменит из шлиха № 10512,  $n = 54$ ; 2, 3 — поля составов пикроильменитов кимберлитов (2) и карбонатитов, гранитов, базальтов (3); 4 — поля составов макрокристаллического ильменита из кимберлитов: 1 — включений в алмазе и алмазных перидотитов, 2 — из алмазоносных лерцолитов и метасоматизированных перидотитов, 3 — из включений в алмазе, неалмазоносных перидотитов, метасоматизированных и катаклазированных лерцолитов, 4 — неалмазоносных перидотитов и энстатитов, 5 — неалмазоносных лерцолитов и пироксенитов (ильменит-клинопироксеновые сростки), 6 — неалмазоносных пироксенитов, 7 — неалмазоносных пироксенитов, вебстеритов и эклогитов, 8 — эклогитов, 9 — эклогитоподобных пород, 10 — из включений в зональных гранатах, сростков с ними и неалмазоносных перидотитов, 11 — неалмазоносных перидотитов, пироксенитов и включений в зональных гранатах

Источник: составлено автором М. Н. Голобурдиной: 1 — на основе [18], 4 — [19]; поля с различным уровнем алмазоносности на рис. b — [20]

Fig. 8. Diagrams  $\text{MgTiO}_3\text{--Fe}_2\text{O}_3\text{--FeTiO}_3$  (a) and  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--MgO}$  (b) for microilmenite from the alluvium of the Legkiy Creek's upper reaches

1 — picroilmenite from concentrate No. 10512,  $n = 54$ ; 2, 3 — Picroilmenite composition fields of kimberlites (2) and carbonatites, granites, basalts (3); 4 — Macrocrystalline ilmenite composition fields from kimberlites: 1 — inclusions in diamond and diamond peridotites, 2 — from diamond-bearing lherzolites and metasomatized peridotites, 3 — from inclusions in diamond, non-diamond-bearing peridotites, metasomatized and cataclastic lherzolites, 4 — non-diamond-bearing peridotites and enstatites, 5 — non-diamond-bearing lherzolites and pyroxenites (ilmenite-clinopyroxene intergrowths), 6 — non-diamond-bearing pyroxenites, 7 — non-diamond-bearing pyroxenites, websterites and eclogites, 8 — eclogites, 9 — eclogite-like rocks, 10 — from inclusions in zonal garnets, their intergrowths, and non-diamond-bearing peridotites, 11 — non-diamond-bearing peridotites, pyroxenites, and inclusions in zonal garnets

Source: adapted by the author M. N. Goloburdina: 1 — from [18], 4 — [19]; diamond potential fields (different levels) in Fig. b — [20]

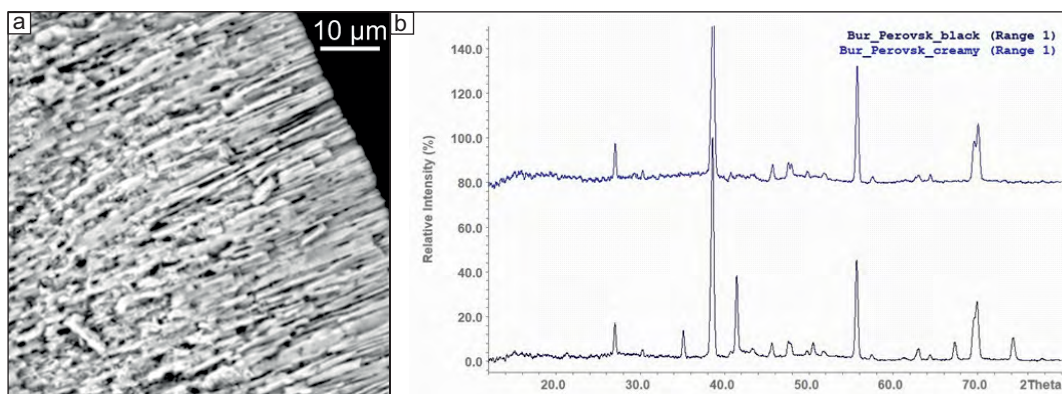


Рис. 9. Перовскитовая кайма пикроильменита

a — поперечный срез каймы в обратно-рассеянных электронах; b — спектры рентгеновской дифракции валовых порошковых проб кайм перовскита из участков светло-бежевых (верхний спектр) и темно-серых (нижний спектр). Дополнительные пики в нижнем спектре отражают присутствие шпинелевой фазы

Fig. 9. Perovskite rim on picroilmenite

a — rim cross section in back-scattered electrons; b — X-ray diffraction spectra of perovskite rim bulk powder samples from the sections of light beige (upper spectrum) and dark gray (lower spectrum). Additional peaks in the lower spectrum reflect the spinel phase

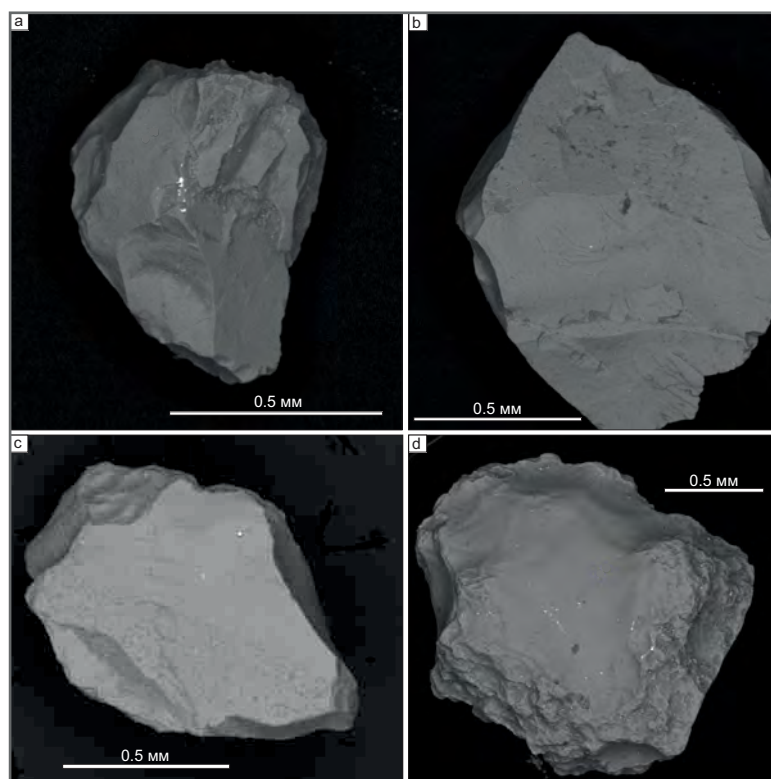


Рис. 10. Зерна пиропы со свежими сколами (a–c) и сохранившимся первичным рельефом (d) из шлиховой пробы № 10512 в обратно-рассеянных электронах

Fig. 10. Pyrope grains with fresh shears (a–c) and preserved primary relief (d) from placer sample No. 10512 in back-scattered electrons

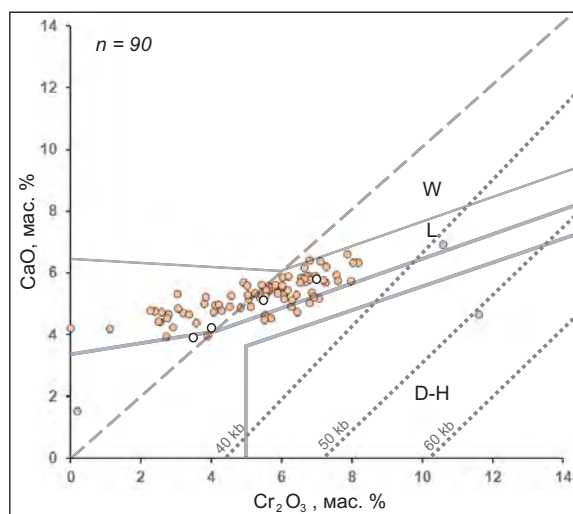


Рис. 11. Соотношение содержания CaO и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в пиропе долины руч. Лёгкий. Парагенезисы пиропов: D-H — дунит-гарцбургитовый, L — лерцолитовый, W — верлитовый

Источник: составлено автором М. Н. Голобурдиной на основе [21] и отчета\*, закрасненные кружки — по материалам отчета\*

Fig. 11. Ratio of the CaO and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  content in pyropes of the Legkiy Creek valley. Pyrope parageneses: D-H — dunite-harzburgite, L — lherzolite, W — verlite

Source: adapted by the author M. N. Goloburdina from [21] and the report\*\*, filled circles — from the report\*\*

\*Куликов Ю. П. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна р. Налым-Рассоха. Отчет по групповой геологической съемке масштаба 1 : 50 000 в северной части Анабара в пределах Билляхской зоны. ПГО «Красноярскгеология», ГСЭ. Красноярск, 1984

\*\*Kulikov Yu. P. Geological composition and mineral resources of the Nalim-Rassokha River basin. Report on the group geological survey (scale 1 : 50,000) of the northern Anabar Shield, within the Billyakh zone. Krasnoyarskgeologiya, GSE. Krasnoyarsk, 1984

индикаторам кимберлитов. Совместное их нахождение и установленные для них характерные первичные поверхности свидетельствуют о близком расположении их от коренного источника.

2. Исследованные пикроильмениты по выявленному широкому спектру содержания  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0–4 %), соотношениям  $\text{MgO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}-\text{TiO}_2$  и распределению миналов сопоставимы с пикроильменитами из кимберлитов.

3. Охарактеризованные типичные разновидности магнезиального и хромистого пикроильменита ( $\text{MgO}$  10–17,2;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  1,5–4;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0–10%) верховьев руч. Лёгкий отвечают составам включений

в алмазах и алмазоносных перидотитах и могут принадлежать к алмазоносному коренному источнику. По этим показателям они существенно отличаются от популяции пикроильменитов ( $\text{MgO}$  до 11 %;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 1,5 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  10–30 %) из аллювия рек Большая Куонамка и Баргыдамалаах, дренирующих неалмазные кимберлитовые поля, что является основанием для прогноза на обнаружение нового алмазоносного кимберлитового поля в центральной части Анабарского массива.

4. В долине руч. Лёгкий распространены пиропы с лерцолитовым парагенезисом (86 %), более редкие составы принадлежат к дунит-гарцбургитовым



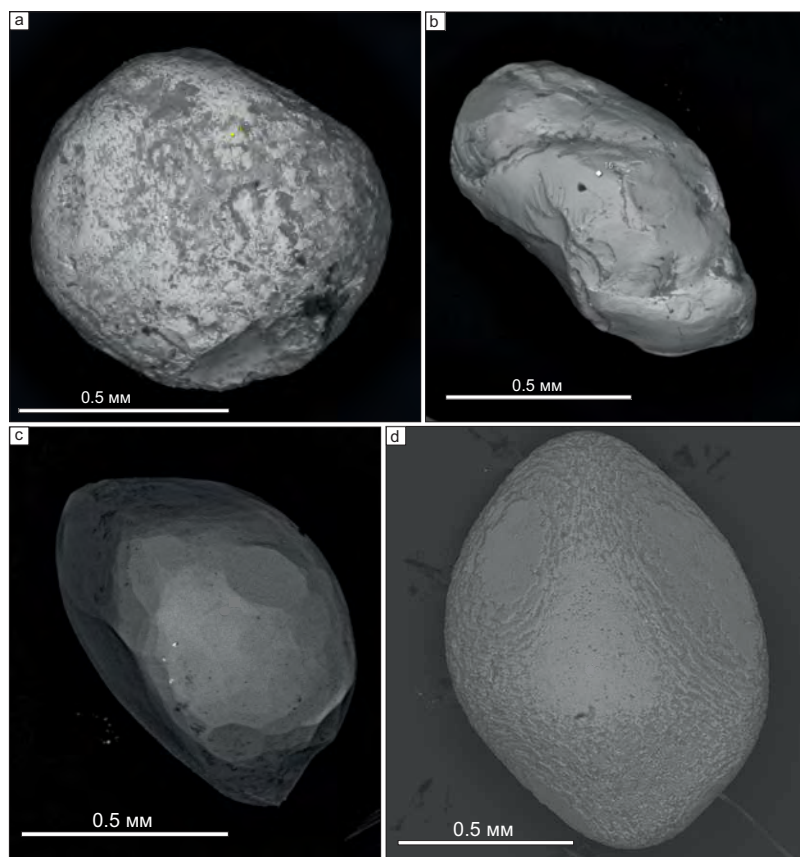


Рис. 12. Зерна хромшпинелидов из шлиховой пробы № 10512 в обратно-рассеянных электронах

Fig. 12. Chromspinelide grains from placer sample No. 10512 in back-scattered electrons

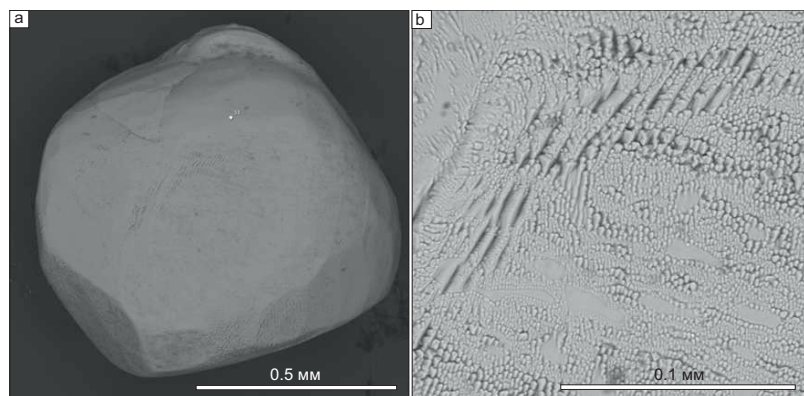


Рис. 13. Морфология и характер поверхности хромшпинелида из шлиховой пробы № 10512 в обратно-рассеянных электронах

*a* — сглаженно-округлая форма, *b* — показана детализация поверхности без признаков механического износа

Fig. 13. Morphology and surface character of chromspinelide from placer sample No. 10512 in back-scattered electrons

*a* — smooth rounded shape, *b* — detailed surface without mechanical wear signs

Таблица 4

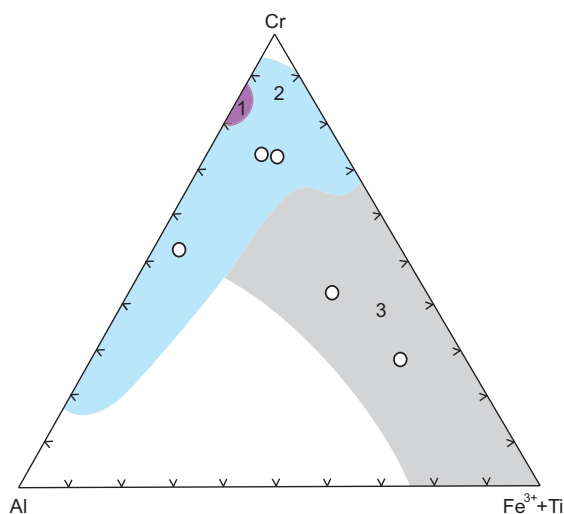
**Химический состав шпинелидов из аллювия верховья руч. Лёгкий (масс. %)**

Table 4. Chemical composition of spinelides from the alluvium of the Legkiy Creek's upper reaches (wt. %)

| № п/п | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO | MgO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | ZnO |
|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|------|-------------------------------|-----|
| 1-а   | 0,5              | 13,1             | 6,1                            | 20,8                           | 46,9                           | 0,6 | 11,5 | 0,2                           | 0,4 |
| 2-б   | 0,5              | 0,4              | 23,1                           | 42,9                           | 19,7                           | —   | 13,4 | —                             | —   |
| 3-в   | 0,9              | 0,3              | 8,2                            | 56,2                           | 21,2                           | —   | 13,3 | —                             | —   |
| 4-г   | 0,6              | 7,3              | 9,3                            | 33,4                           | 34                             | 0,5 | 15   | —                             | —   |
| 5*    | 0,5              | 0,6              | 6,9                            | 56,2                           | 20,9                           | —   | 14,8 | —                             | —   |

Примечание. Буквы в графе «№ п/п» соответствуют составам зерен, приведенных на рис. 12; № 5\* — состав зерна на рис. 13

Note. Letters in the column "№ п/п" correspond to the grain compositions in fig. 12; no. 5\* refers to the grain composition in fig. 13



**Рис. 14. Составы шпинелидов из аллювия руч. Лёгкий на диаграмме Al–Cr–Fe<sup>3+</sup>+Ti (кат.). Поля шпинелидов**

1 — ассоциирующих с алмазом, 2 — ксенолитов ультраосновных пород, 3 — составы зональных шпинелидов из связующей массы кимберлитов

Источник: составлено автором М. Н. Голобурдиной на основе [22]

**Fig. 14. Compositions of spinelides from the alluvium of the Legkiy Creek in the diagram Al–Cr–Fe<sup>3+</sup>+Ti (cat.). Spinelide fields**

1 — diamond-associated, 2 — xenoliths of ultrabasic rocks, 3 — compositions of zonal spinelides from the binding mass of kimberlites

Source: adapted by the author M. N. Goloburdina from [22]

(11%) и пироксенитовым парагенезисам. Определенное количественное соотношение парагенезисов пироба с превалированием лерцолитового типично для кимберлитов.

5. Обнаруженные шпинелиды имеют первичные поверхности и по типоморфным особенностям происходят из глубинных ультрамафитовых пород и основной массы кимберлитов, образуя единую ассоциацию в коренном источнике.

6. В период исследовательских работ была установлена оперативная диагностика пироба в шлиховых пробах с большим количеством алмазидина под бинокулярным микроскопом при использовании сменных типов осветителей на базе светодиодов и ламп накаливания.

Таким образом, благодаря проведенным полевым и детальным лабораторно-аналитическим исследованиям изучены широкие спектры кимберлитовых минералов и установлено, что на них отсутствует механический износ, что свидетельствует о первичном ореоле минералов-индикаторов кимберлитов от коренного тела в верховьях руч. Лёгкий. Рассмотренный фактический материал подтверждает данные красноярских геологов<sup>1</sup> и позволяет прогнозировать на Анабарском массиве в бассейне рек Налим-Рассоха и Улахан-Старая новое кимберлитовое поле (Рассохинское). Повышенная мощность земной коры на данной территории и наличие зерен пиробов алмазной ассоциации позволяют рассчитывать на его потенциальную продуктивность.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зайцев А. И., Смелов А. П. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции. Якутск, 2010. 108 с.

<sup>1</sup> Куликов Ю. П. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна р. Налим-Рассоха. Отчет по групповой геологической съемке масштаба 1 : 50 000 в северной части Анабара, в пределах Билляхской зоны. ПГО «Красноярскгеология», ГСЭ. Красноярск, 1984.

2. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. М. : Недра, 2003. 603 с.

3. Граханов С. А. Формирование алмазоносной россыпи р. Большая Куонамка (север Сибирской платформы) // Отечественная геология. 2016. № 6. С. 1–8.

4. Граханов С. А. Перспективы коренной алмазоносности Анабарского кристаллического массива // Вестник Госкомгеологии: материалы по геологии и полезным ископаемым Республики Саха (Якутия). 2001. № 1. С. 65–75.

5. Докембрийские алмазоносные провинции мира / М. П. Метелкина [и др.]. М. : Недра, 1976. 134 с.

6. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Тычков С. А. Проблема докембрийской алмазоносности Сибирской платформы // Вестник Воронежского университета. Геология. 2002. Вып. 1. С. 19–36.

7. Россыпи алмазов России / С. А. Граханов [и др.]. Новосибирск : Гео, 2007. 420 с.

8. Палеозойский U–Pb возраст включения рутила в алмазе V–VII разновидности из россыпей северо-востока Сибирской платформы / В. П. Афанасьев [и др.] // Докл. РАН. 2009. Т. 428, № 2. С. 1–5.

9. The Siberian lithosphere traverse: mantle terranes and the assembly of the Siberian Craton / W. L. Griffin [et al.] // Tectonophysics. 1999. Vol. 310. P. 1–35. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00156-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00156-0).

10. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутской алмазоносной провинции / А. М. Агашев [и др.] // Докл. РАН. 2004. Т. 399, № 1. С. 95–99.

11. Изотопно-геохимические и возрастные характеристики раннепротерозойских террейнов, коллизийных зон и связанных с ними анортозитов на северо-востоке Сибирского кратона / О. М. Розен [и др.] // Геология и геофизика. 2000. Т. 41, № 2. С. 163–180.

12. Clifford T. N. Tectono–metallogenic units and metallogenic provinces of Africa // Earth Planetary Science Letters. 1966. Vol. 1. P. 421–434. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(66\)90039-2](https://doi.org/10.1016/0012-821X(66)90039-2).

13. Манаков А. В. Закономерности размещения алмазоносных кимберлитов на основе анализа глубинного строения литосферы // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Якутск : ИГАиБМ СО РАН, 2002. 40 с.

14. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. Поисковая минералогия алмаза. Новосибирск : Гео, 2010. 650 с.

15. Костровицкий С. И., Яковлев Д. А., Суворова Л. Ф. Эволюция состава пикроильменита из кимберлитовых трубок Якутии // Современные проблемы геохимии: Матер. Всероссийского совещания (с участием иностранных ученых), посвященного 95-летию со дня рождения академика Л. В. Таусона. Иркутск : Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы, СО РАН. В 3-х томах. 2012. Т. 2. С. 90–93.

16. Литосферная мантия Накынского кимберлитового поля (Якутия) по данным изучения мантийных ксенолитов и базальтов трубки Нюрбинская / С. М. Саблуков [и др.] // Тр. VII межд. семинара. Щелочной магматизм, его источники и плюмы. Иркутск-Неаполь: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. С. 167–184.

17. Compositional classification of “kimberlitic” and “non-kimberlitic” ilmenite / B. A. Wyatt [et al.] // 8<sup>th</sup> IGC Selected Papers. Lithos, 2004. Vol. 2, no. 77. P. 819–840. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.025>.

18. Mitchell R. H., Bergman S. B. Petrology of lamproites. New York: Plenum Press, 1991. 472 p.

19. Микрокристаллические оксиды из кимберлитов России / В. К. Гаранин [и др.]. М.: ГЕОС, 2009. 498 с.

20. Gurney J. J., Zweistra P. The interpretation of the major element compositions of mantle minerals in diamond exploration // Journal of Geochemical Exploration. 1995. No. 53. P. 293–309. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)00021-3](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)00021-3).

21. Соболев Н. В. О минералогических критериях алмазности кимберлитов // Геология и геофизика. 1971. № 3. С. 70–80.

22. Никишов К. Н. Петролого-минералогическая модель кимберлитового процесса. М.: Наука, 1984. 211 с.

## REFERENCES

1. Zaytsev A. I., Smelov A. P. Isotope geochronology of rocks of kimberlite formation of Yakut province. Yakutsk; 2010. 108 p. (In Russ.).

2. Zinchuk N. N., Koptil V. I. Typomorphism of diamonds of the Siberian platform. Moscow: “Nedra” Publisher; 2003. 603 p. (In Russ.).

3. Grakhanov S. A. Formation of the diamond-bearing placer of the Bolshaya Kuonamka River (north of the Siberian platform). Domestic geology. 2016; (6): 1–8. (In Russ.).

4. Grakhanov S. A. Prospects for the primary diamond potential of the Anabar crystalline massif. Bulletin of the State Committee on Geology: materials on geology and mineral resources of the Republic of Sakha (Yakutia). 2001; (1): 65–75. (In Russ.).

5. Precambrian diamondiferous provinces of the world / M. P. Metyelkina [et al.]. Moscow: “Nedra” Publisher; 1976. 134 p. (In Russ.).

6. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Tichkov S. A. The problem of Precambrian diamond potential of the Siberian platform. Bulletin of the Voronezh State University. Geology. 2002; (1): 19–36. (In Russ.).

7. Diamond placers of Russia / S. A. Grakhanov [et al.]. Novosibirsk: “Geo” Publisher; 2007. 420 p. (In Russ.).

8. Paleozoic U-Pb age of rutile inclusion in diamond of V-VII type collected from placers of northeast part of the Siberian platform / V. P. Afanasyev [et al.]. Reports of Russian Academy of Sciences. 2009; 428 (2): 1–5. (In Russ.).

9. The Siberian lithosphere traverse: mantle terranes and the assembly of the Siberian Craton / W. L. Griffin [et al.]. Tectonophysics. 1999; 310: 1–35. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00156-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00156-0).

10. New data on kimberlite age of Yakut diamond province / A. M. Agashev [et al.]. Reports of Russian Academy of Sciences. 2004; 399 (1): 95–99.

11. Isotope-geochemical and age characteristics of early Proterozoic terranes, collision zones and associated anorthosites in the north-east of the Siberian craton / O. M. Rozen [et al.]. Geology and Geophysics. 2000; 41 (2): 163–180. (In Russ.).

12. Clifford T. N. Tectono-metallogenic units and metallogenic provinces of Africa. Earth Planetary Science Letters. 1966; 1: 421–434. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(66\)90039-2](https://doi.org/10.1016/0012-821X(66)90039-2).

13. Manakov A. V. Patterns of diamond-bearing kimberlite distribution based on analysis of the deep structure of the lithosphere. DSc. dissertation (Geology-Mineralogy) abstract. Yakutsk: Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; 2002. 40 p. (In Russ.).

14. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Pokhilenko N. P. Prospecting mineralogy of diamond. Novosibirsk: “Geo” Publisher; 2010. 650 p. (In Russ.).

15. Kostrovitskiy S. I., Yakovlev D. A., Suvorova L. F. Evolution of the composition of picroilmenite from kimberlite pipes of Yakutia. Modern problems of geochemistry: Proceedings of the All-Russian Conference dedicated to the 95th anniversary of the birth of Academician L. V. Tauson. Irkutsk, Publisher of the V. B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. 2012; 2: 90–93 (In Russ.).

16. Lithospheric mantle of the Nakyn kimberlite field (Yakutia) based on the study of mantle xenoliths and basalts of the Nyurbinskaya pipe / S. V. Sablukov [et al.]. Proceedings of the VII International Seminar. Alkaline Magmatism, Its Sources and Plumes. Irkutsk-Napoli, Publisher of the Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2007. P. 167–184 (In Russ.).

17. Compositional classification of “kimberlitic” and “non-kimberlitic” ilmenite / B. A. Wyatt [et al.]. 8<sup>th</sup> IGC Selected Papers. Lithos. 2004; 2 (77): 819–840. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.025>.

18. Mitchell R. H., Bergman S. B. Petrology of lamproites. New York: Plenum Press; 1991. 472 p.

19. Microcrystalline oxides from kimberlites of Russia / V. K. Garaniin [et al.]. Moscow: “GEOS” Publisher; 2009. 498 p. (In Russ.).

20. Gurney J. J., Zweistra P. The interpretation of the major element compositions of mantle minerals in diamond exploration. Journal of Geochemical Exploration. 1995; (53): 293–309. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)00021-3](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)00021-3).

21. Soboлев N. V. On mineralogical criteria for diamond-bearing kimberlites. Geology and Geophysics. 1971; (3): 70–80 (In Russ.).

22. Nikishov K. N. Petrological and mineralogical model of the kimberlite process. Moscow: “Nauka” Publisher; 1984. 211 p. (In Russ.).

## Бураков Борис Евгеньевич

Доктор геолого-минералогических наук,  
ведущий специалист

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-4765-3100>

Scopus Author ID 6701735957

ResearcherID AFO-8439-2022

SPIN-код ПИИЦ 2589-9238

Boris\_Burakov@karpinskyinstitute.ru

## Boris E. Burakov

DSc (Geology and Mineralogy),  
Leading Specialist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-4765-3100>

Scopus Author ID 6701735957

ResearcherID AFO-8439-2022

RSCI SPIN-code 2589-9238

Boris\_Burakov@karpinskyinstitute.ru



## Голобурдина Марина Николаевна

Ведущий геолог

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0007-3390-1955>

SPIN-код РИНЦ 1900-6624

Marina\_Goloburdina@karpinskyinstitute.ru

## Marina N. Goloburdina

Leading Geologist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0007-3390-1955>

RSCI SPIN-code 1900-6624

Marina\_Goloburdina@karpinskyinstitute.ru

## Граханов Сергей Александрович

Доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник<sup>1</sup>, главный геолог<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>АЛМАР — алмазы Арктики, Якутск, Россия

<https://orcid.org/0009-0009-5327-309X>

SPIN-код РИНЦ 5254-5010

s.grakhanov@yandex.ru

## Sergey A. Grakhanov

DSc (Geology and Mineralogy), Chief Researcher<sup>1</sup>, Chief Geologist<sup>2</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup>АЛМАР — diamonds of the Arctic, Yakutsk, Russia

<https://orcid.org/0009-0009-5327-309X>

RSCI SPIN-code 5254-5010

s.grakhanov@yandex.ru

---

**Авторское выражение благодарности:** авторы признательны А. А. Устинову и М. Ю. Курапову за участие в полевых работах; В. Ф. Сапеге, А. В. Антонову и минералогам Вилуйской геологоразведочной экспедиции ПАО «АЛРОСА» за проведение лабораторных исследований. Авторы выражают благодарность ресурсному центру «Рентгенодифракционные методы исследования» СПбГУ за инструментальную поддержку в проведении рентгенодифракционных исследований.

**Acknowledgments:** the authors are very grateful to A. A. Ustinov and M. Yu. Kurapov for participating in the field work; to V. F. Sapega, A. V. Antonov, and mineralogists of Vilyuy geological exploration expedition of ALROSA (PJSC) for laboratory analytical work. The authors thank the Research Centre for X-ray Diffraction Studies of Saint-Petersburg State University for providing instruments to conduct X-ray diffraction studies.

---

**Вклад авторов:** Бураков Б. Е. — аналитические исследования, написание исходного текста.  
Голобурдина М. Н. — развитие методологии, обработка и интерпретация результатов, написание исходного текста.  
Граханов С. А. — актуальность исследований, интерпретация результатов, написание исходного текста.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** Burakov B. E. — analytical work, writing the paper draft.  
Goloburdina M. N. — methodology development, data processing and interpretation, writing the paper draft.  
Grakhanov S. A. — relevance of research, data interpretation, writing the paper draft.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 29.10.2024  
Одобрена после рецензирования 18.11.2024  
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 29.10.2024  
Approved after reviewing 18.11.2024  
Accepted for publication 28.12.2024

## Персоналии

УДК [091.5/.6+097](092):026:55(470.23-25)  
doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_180-186

**Ключевые слова:** Геологический комитет, Всероссийская геологическая библиотека, книжные коллекции, Карпинские, А. П. Карпинский

**Для цитирования:** Бердник Л. В. Автографы и экслибрисы династии горных инженеров Карпинских в фонде Всероссийской геологической библиотеки // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 180–186. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_180-186](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_180-186)

## Personalia

UDC [091.5/.6+097](092):026:55(470.23-25)  
doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_180-186

**Keywords:** Geological Committee, Russian Geological Library, book collections, the Karpinskys, A. P. Karpinsky

**For citation:** Berdnik L. V. Autographs and bookplates of the Karpinsky dynasty of mining engineers in the collection of the Russian Geological Library. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024; 31 (4): 180–186. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_180-186](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_180-186)

**Автографы и экслибрисы династии  
горных инженеров Карпинских в фонде  
Всероссийской геологической библиотеки****Л. В. Бердник**✉

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,  
[larisa\\_berdnik@karpinskyinstitute.ru](mailto:larisa_berdnik@karpinskyinstitute.ru)✉

**Аннотация.** Создание собственной библиотеки Геологического комитета связано с династией русских геологов Карпинских, которые внесли большой вклад в пополнение ее фонда. В статье сообщается о книгах, входивших в состав личных библиотек Карпинских: Александра Михайловича, Петра Михайловича, Михаила Михайловича и Александра Петровича. Особое внимание уделено наличию в них автографов и экслибрисов. Экслибрис М. М. Карпинского сохранился в «Руководстве к преподаванию минералогии» П. Ф. Горянинова, издании П. Ж. Ф. Тюрпена о микроскопических наблюдениях над органическими телами, собственной работе «О золотоносных россыпях». Обнаружены дарственные надписи М. М. Карпинского на книгах Я. Г. Зембницкого (о систематическом определении ископаемых растений) и П. Ф. Горянинова, автограф — в издании И. Л. Дефранса, посвященном ископаемым органическим телам. Представлены дарственные надписи А. М. Карпинского на учебной книге геогнозии Ж.-Фр. д'Обюисон де Вуазена, П. М. Карпинского — в собственной работе, посвященной остаткам едестид. Эти издания сохранились в фонде Всероссийской геологической библиотеки, основанной стараниями А. П. Карпинского.

**Autographs and bookplates of the Karpinsky  
dynasty of mining engineers in the collection  
of the Russian Geological Library****L. V. Berdnik**✉

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia, [larisa\\_berdnik@karpinskyinstitute.ru](mailto:larisa_berdnik@karpinskyinstitute.ru)✉

**Abstract.** The Karpinsky dynasty of Russian geologists, whose activity relates to the foundation of the Geological Committee's own library, contributed greatly to replenishing its stocks. The paper reports on the books included in the personal libraries of the Karpinsky dynasty: Aleksandr M., Petr M., Mikhail M., and Aleksandr P. The focus is on their autographs and bookplates. The bookplate of M. M. Karpinsky is found on *Guide to Teaching Mineralogy* by P. F. Goryaninov, P. J. F. Turpin's publication on microscopic observations of organic bodies, and his own paper *On Gold Placers*. The books by Ya. G. Zembnitsky (on the systematic determination of fossil plants) and P. F. Goryaninov have M. M. Karpinsky's dedicatory inscriptions; I. L. Defrance's publication about fossil organic bodies presents his autograph. There are demonstrated A. M. Karpinsky's dedicatory inscriptions on the treatise of geognosy by J.-Fr. d'Aubuisson de Voisin and on P. M. Karpinsky's own paper revealing the remains of edestids. The collection of the Russian Geological Library founded through A. P. Karpinsky's efforts contains these publications.

Основанный в 1882 г. российским императором Александром III Геологический комитет сразу же озаботился созданием собственной библиотеки, которая была образована в том же году. С момента основания многое связывает библиотеку с известной династией русских геологов Карпинских. Назначенный в 1885 г. директором Геологического комитета (входил в его состав с момента основания комитета) Александр Петрович Карпинский (1847–1936) уделял библиотеке особое внимание. 24 апреля 1882 г. на заседании комитета А. П. Карпинскому совместно с будущим директором Горного института В. И. Меллером было поручено просмотреть каталог библиотеки профессора Н. П. Барбот-де-Марни для дальнейшего доклада комитету. Собрание профессора планировалось купить у его вдовы за 2000 рублей с рассрочкой оплаты на 2 года с целью создания собственной библиотеки [1, с. 8–9].

А. П. Карпинский лично жертвовал книги в библиотеку. Так, в 1884 г. он подарил фонду только что вышедшее издание *“Die fossilen Pteropoden am Ostabhange des Urals”* [2, с. 22]. В подготовленном в 1885 г. докладе «Отчет о состоянии и деятельности Геологического комитета за 1882–1884 гг.» Александр Петрович подробно сообщил о деятельности библиотеки за 3 года [3, с. 41–46]. В дальнейших отчетах А. П. Карпинский также освещал состояние



**Рис. 1. М. М. Карпинский**

Источник: Карпинские : [сайт]. URL: <http://www.karpinskies.ru/>

**Fig. 1. M. M. Karpinsky**

Source: The Karpinskys: [website]. URL: <http://www.karpinskies.ru/>

библиотеки, которая к 1 января 1887 г. насчитывала 2904 издания [4, с. 138]. Неудивительно, что в фонде учреждения присутствуют издания, когда-то входившие в состав частновладельческих библиотек семьи Карпинских.

Михаил Михайлович Карпинский родился в 1809 г. (рис. 1). В 1829 г. окончил Горный кадетский корпус и начал работу смотрителем в округе Богословских заводов. В этот период Михаил Михайлович вел геогностические исследования. В 1838 г. он был произведен в капитаны и переведен в округ Екатеринбургских заводов, став позже их управляющим. За исследование «О золотоносных россыпях» (Карпинский М. М. О золотоносных россыпях. СПб., 1840. 453 с.) Горный ученый комитет в 1840 г. наградил М. М. Карпинского премией в 4000 рублей по теории и практике горного дела (премия учреждена по представлению министра финансов Е. Ф. Канкрин). Исследование было опубликовано в том же году в «Горном журнале». В 1842 г. Михаил Михайлович был произведен в майоры, а через год вышел в отставку. В дальнейшем работал управляющим золотых приисков в Сибири и медеплавильных заводов на Урале. Умер М. М. Карпинский в 1868 г. в Санкт-Петербурге [5, с. 533–534].

Сохранился экслибрис Михаила Михайловича Карпинского — овальный штемпель синих чернил (рис. 2). В верхней части экслибриса — корона (корона входит в состав герба дворянской фамилии Карпинских), в нижней — надпись: «Библиотека М. М. Карпинского». Частновладельческие книжные знаки М. М. Карпинского стоят на изданиях П. Ф. Горянинова (Горянинов П. Ф. Руководство к преподаванию минералогии. СПб., 1835. 291 с.), П. Ж. Ф. Тюрпена (Тюрпен П. Ж. Ф. Микроскопические наблюдения над разными органическими телами, заключенными в прозрачной массе кремня / Пер. И. Брыкова. СПб., 1838. 43 с.) и на собственной работе Михаила Михайловича (Карпинский М. М. О золотоносных россыпях. СПб., 1840. 453 с.).



**Рис. 2. Экслибрис М. М. Карпинского**

Источник: Горянинов П. Ф. Руководство к преподаванию минералогии. СПб., 1835. 291 с.

**Fig. 2. Bookplate of M. M. Karpinsky**

Source: Goryaninov P. F. Guide to teaching mineralogy. St. Petersburg; 1835. 291 p.



На двух книгах сохранились дарственные надписи авторов. Это издания Я. Г. Зембницкого (Зембницкий Я. Г. Сокращенное руководство к систематическому определению ископаемых растений, встречающихся в различных пластах земного шара. Ч. 1–2. СПб., 1833. 2 т.) и указанное ранее издание П. Ф. Горянинова (рис. 3, 4). Яким Григорьевич Зембницкий родился в 1784 г. Окончил Черниговскую духовную семинарию и Главный педагогический институт (1807). Читал лекции по геологии и ботанике в Горном кадетском корпусе, ботанике в Петербургском университете, ординарный профессор Главного педагогического института. Один из членов-учредителей Императорского минералогического общества, в 1827–1842 гг. — директор общества. Умер в 1851 г. [6, с. 350–351]. Павел Федорович Горянинов родился в 1796 г. Окончил иезуитский коллегиум. Работал на кафедрах ботаники, рецептуры и фармации, позже — зоологии и минералогии, а с 1838 г. фармакологии. Умер в 1865 г. [7, с. 384].

Автограф Михаила Михайловича Карпинского оставлен на странице в статье И. Л. Дефранса «Таблица ископаемых органических тел, предшествуемая замечаниями о их окаменении» в «Горном журнале» за 1830 г. № 5, автором перевода которого выступил брат Михаила Михайловича — Александр Михайлович (рис. 5). Отдельно «Таблица...» была издана книгой в том же году (Дефранс И. Л. Таблица ископаемых органических тел, предшествуемая замечаниями о их окаменении / [Соч.] Г. Дефранса; пер. А. Карпинского. СПб., 1830. 137 с.), а один из экземпляров книги А. М. Карпинский подарил Михаилу Михайловичу с дарственной надписью (рис. 6).

Александр Михайлович Карпинский родился в 1804 г. Окончил в 1825 г. Горный кадетский корпус. Служил в Монетном дворе, Институте Корпуса горных инженеров. Автор ряда переводов иноязычных работ по геологии и палеонтологии в «Горном журнале». Самостоятельно проводил палеонтологические исследования, способствовал пополнению

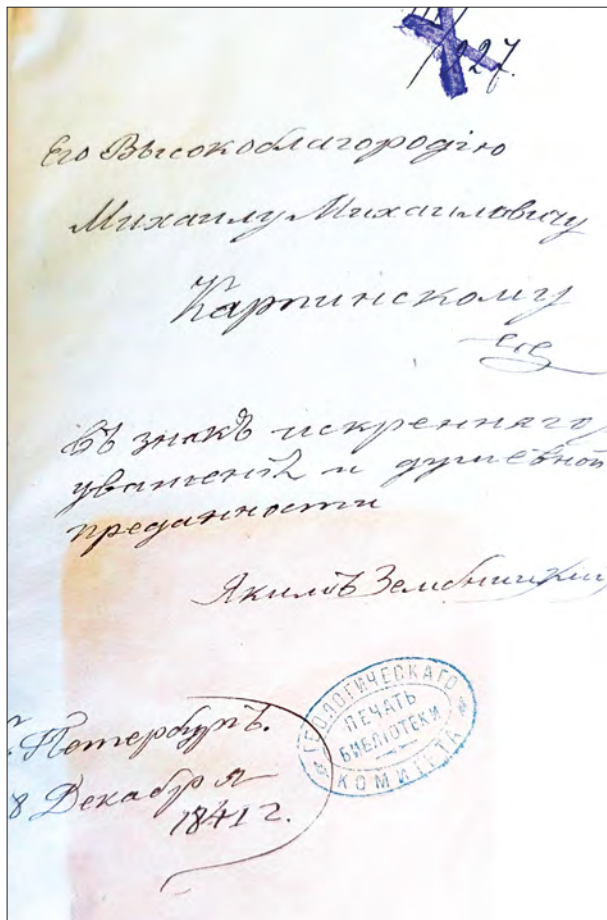


Рис. 3. Дарственная надпись М. М. Карпинскому от Я. Г. Зембницкого

Источник: Горянинов П. Ф. Руководство к преподаванию минералогии. СПб., 1835. 291 с.

Fig. 3. Dedicatory inscription to M. M. Karpinsky from Ya. G. Zembitsky

Source: Goryaninov P. F. Guide to teaching mineralogy. St. Petersburg; 1835. 291 p.

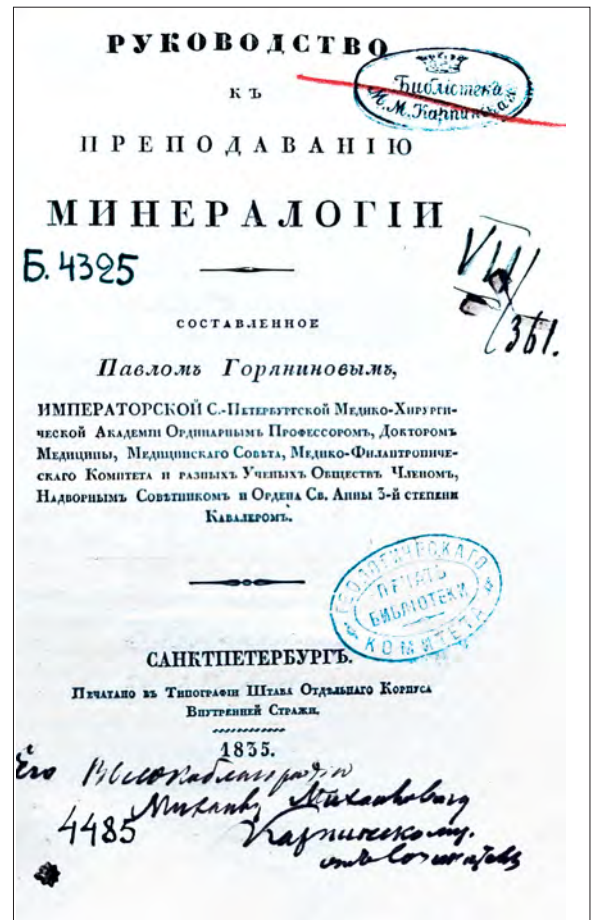


Рис. 4. Дарственная надпись М. М. Карпинскому от П. Ф. Горянинова

Источник: Горянинов П. Ф. Руководство к преподаванию минералогии. СПб., 1835. 291 с.

Fig. 4. Dedicatory inscription to M. M. Karpinsky from P. F. Goryaninov

Source: Goryaninov P. F. Guide to teaching mineralogy. St. Petersburg; 1835. 291 p.

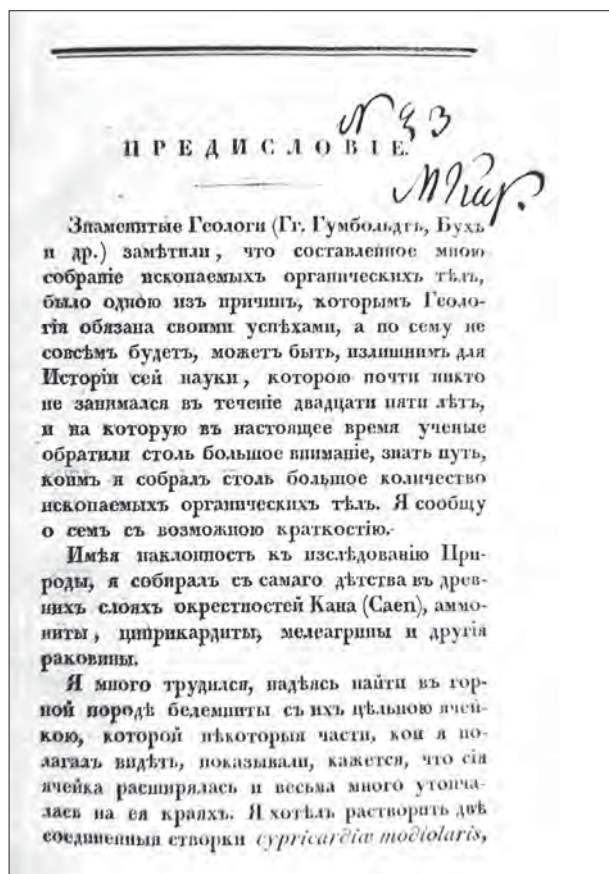


Рис. 5. Автограф М. М. Карпинского

Источник: Дефранс Г. Таблица ископаемых органических тел, предшествующая замечаниями о их окаменении // Горный журнал. 1830. Кн. V. С. 135.

Fig. 5. Autograph of M. M. Karpinsky

Source: Defrance J. Table of fossil organic bodies, preceded by remarks on their petrification. *Mining Journal*. 1830; (V): 135.

фонда музея Института Корпуса горных инженеров. Умер в 1859 г. [8].

Интересна судьба издания Обюисона де Вуазена (переводчики – А. Кулибин, И. Ковригин, А. Таскин) (Обюисон де Вуазен, Ж.-Фр. д'. Учебная книга геогнозии, или Изложение настоящих сведений о физическом состоянии и минеральном устройстве земного шара. СПб., 1830. 489 с.). На книге имеется дарственная надпись Петру Михайловичу Карпинскому, а также экслибрис М. М. Карпинского, что говорит о передаче книги от брата к брату (рис. 7).

Петр Михайлович Карпинский родился в 1808 г. (рис. 8). В 1829 г. окончил Горный кадетский корпус в Санкт-Петербурге и стал смотрителем золотых промыслов в Богословском горном округе на Урале. В 1837–1847 гг. управляющий медных рудников и золотых промыслов в том же округе. С 1848 г. горный начальник Екатеринбургских заводов. Умер в 1856 г. [9].

Наиболее известным представителем династии Карпинских стал сын Петра Михайловича — Александр Петрович (рис. 9). О нем написано множество книг и статей. Александр Петрович Карпинский

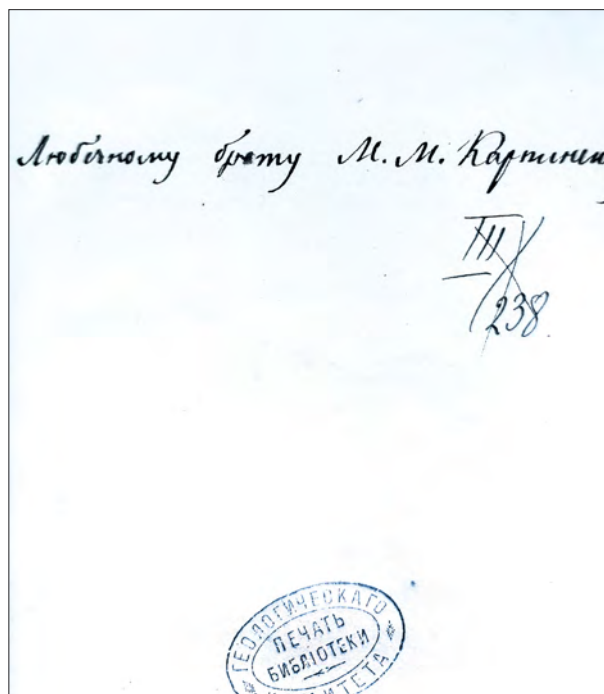


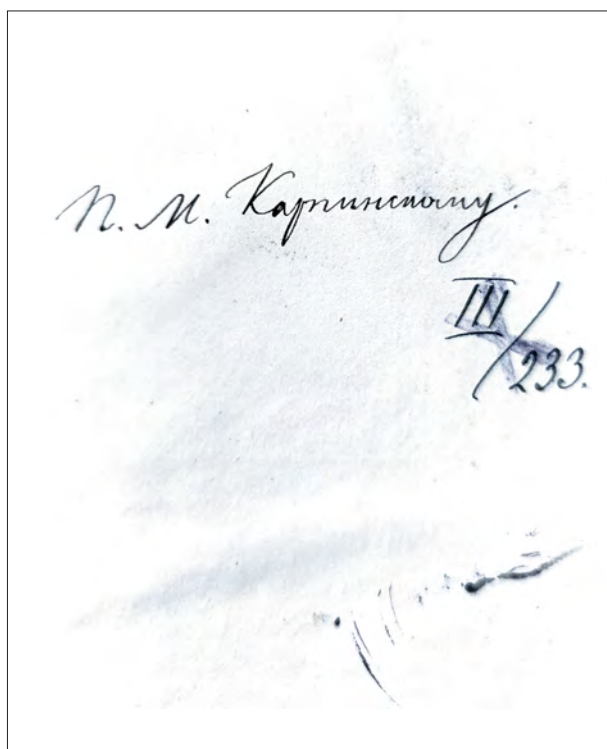
Рис. 6. Автограф А. М. Карпинского

Источник: Дефранс И. Л. Таблица ископаемых органических тел, предшествующая замечаниями о их окаменении / [Соч.] Г. Дефранса; пер. А. Карпинского. СПб., 1830. 137 с.

Fig. 6. Autograph of A. M. Karpinsky

Source: Defrance I. L. Table of fossil organic bodies, preceded by remarks on their petrification / by J. Defrance; transl. by A. Karpinsky. St. Petersburg; 1830. 137 p.

родился в 1846 г. Окончил в 1866 г. Горный институт. В 1877–1896 гг. профессор института. При создании Геологического комитета стал его старшим геологом, в 1885–1903 гг. директором, в 1903–1929 гг. почетным директором. В 1899–1936 гг. президент Минералогического общества. 15 мая 1917 г. стал первым выборным президентом Российской Академии наук. Автор сводных геологических карт Урала и Европейской части Советского Союза, работ в области тектоники, палеогеографии и палеонтологии. Умер в 1936 г. в Москве. Похоронен у Кремлевской стены [10]. На собственной работе Александра Петровича Карпинского (Карпинский А. П. Об остатках едестид и о новом их роде *Helicoprion*. СПб., 1899. 67 с.) сохранилась дарственная надпись: «Дорогому Феодосию Николаевичу Чернышеву. Санкт-Петербург, 1899» (рис. 10). Феодосий Николаевич Чернышев родился в 1856 г. Окончил в 1880 г. Горный институт и поступил на службу по главному горному управлению. После создания в 1882 г. Геологического комитета становится его младшим геологом. В 1903–1914 гг. возглавлял Геологический комитет. За время работы в комитете посетил многие регионы России и иностранных государств. Умер в 1914 г. [11].



**Рис. 7. Дарственная надпись П. М. Карпинскому**

Источник: Обюйсон де Вуазен, Ж.-Фр. д'. Учебная книга геогнозии, или Изложение настоящих сведений о физическом состоянии и минеральном устройстве земного шара. СПб., 1830. 489 с.

**Fig. 7. Dedicatory inscription to P. M. Karpinsky**

Source: Aubuisson De Voisins, J. F. d'. Treatise of geognosy or presentation of current knowledge on the physical and mineral constitution of the terrestrial globe. St. Petersburg; 1830. 489 p.



**Рис. 8. П. М. Карпинский**

Источник: Карпинские : [сайт]. URL: <http://www.karpinskie.ru/>

**Fig. 8. P. M. Karpinsky**

Source: The Karpinskys: [website]. URL: <http://www.karpinskie.ru/>



**Рис. 9. А. П. Карпинский**

Источник: Карпинские : [сайт]. URL: <http://www.karpinskie.ru/>

**Fig. 9. A. P. Karpinsky**

Source: The Karpinskys: [website]. URL: <http://www.karpinskie.ru/>



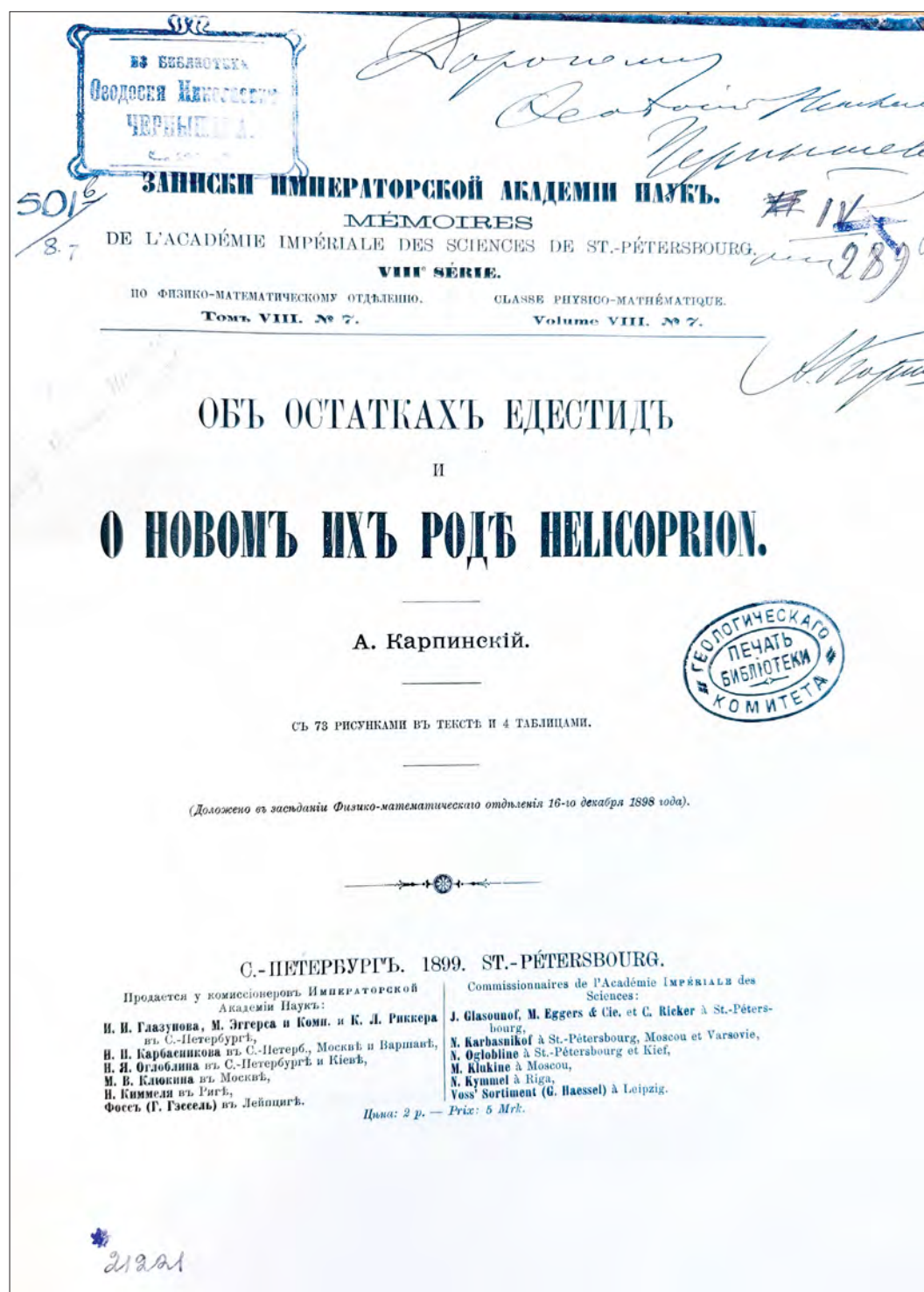


Рис. 10. Дарственная А. П. Карпинского

Источник: Карпинский А. П. Об остатках едестид и о новом их роде *Helicoprion*. СПб., 1899. 67 с.

Fig. 10. Dedicatory inscription of A. P. Karpinsky

Source: Karpinsky A. P. On the remains of Edestidae and their new genus *Helicoprion*. St. Petersburg; 1899. 67 p.

Необходимо отметить и исследовательскую и популяризаторскую работу продолжателей династии Карпинских. Благодаря их деятельности существует сайт с историей семьи и сведениями о представителях рода [12].

Таким образом, Всероссийская геологическая библиотека, основанная в том числе и стараниями А. П. Карпинского, обладает изданиями, ранее принадлежавшими династии горных инженеров Карпинских. В фонде сохранились книги с автографами Александра Михайловича, Михаила Михайловича (в том числе и его экслибрис) и Александра Петровича Карпинских, а также издание, входившее в состав библиотеки Петра Михайловича, переданное его брату — Михаилу Михайловичу.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Известия Геологического комитета. Т. 1. Санкт-Петербург, 1883. 71 с.
2. Известия Геологического комитета. Т. 3. Санкт-Петербург, 1884. 326 с.
3. Известия Геологического комитета. Т. 4. Санкт-Петербург, 1886. 545 с.
4. Известия Геологического комитета. Т. 6. Санкт-Петербург, 1887. 637 с.
5. Русский биографический словарь А. А. Половцова. Т. 8: Ибак – Ключарев. СПб., 1897. 756 с.
6. Русский биографический словарь А. А. Половцова. Т. 7: Жабокритский – Зяловский. СПб., 1897. 588 с.
7. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. Т. IX. СПб., 1893. 474 с.
8. Малахова И. Г. Александр Михайлович Карпинский (1804–1859) // История геологии и горного дела : [сайт]. Дата обновления: 11.11.2022. URL: <http://higeo.ginras.ru/view-record.php?tbl=person&id=1548> (дата обращения: 17.10.2024).
9. Малахова И. Г. Петр Михайлович Карпинский (1808–1856) // История геологии и горного дела : [сайт]. Дата обновления: 11.11.2022. URL: <http://higeo.ginras.ru/view-record.php?tbl=person&id=1552> (дата обращения: 17.10.2024).
10. Александр Петрович Карпинский. 26.12.1846 (7.01.47)–15.07.1936 // Всероссийский научно-иссле-

дательский геологический институт им. А. П. Карпинского : [сайт]. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/about/history/karpinsky.php> (дата обращения: 17.10.2024).

11. Феодосий Николаевич Чернышев. 25.09.1856–15.01.1914 // Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского : [сайт]. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/about/history/chernyshev.php> (дата обращения: 17.10.2024).

12. Карпинские : [сайт]. URL: <http://www.karpinskie.ru/> (дата обращения: 17.10.2024).

## REFERENCES

1. Proceedings of the Geological Committee. Vol. 1. St. Petersburg; 1883. 71 p. (In Russ.).
2. Proceedings of the Geological Committee. Vol. 3. St. Petersburg; 1884. 326 p. (In Russ.).
3. Proceedings of the Geological Committee. Vol. 4. St. Petersburg; 1886. 545 p. (In Russ.).
4. Proceedings of the Geological Committee. Vol. 6. St. Petersburg; 1887. 637 p. (In Russ.).
5. Russian Biographical Dictionary of A. A. Polovtsov. Vol. 8: Ibak – Klyucharev. St. Petersburg; 1897. 756 p. (In Russ.).
6. Russian Biographical Dictionary of A. A. Polovtsov. Vol. 7: Zhabokritsky – Zyalovsky. St. Petersburg; 1897. 588 p. (In Russ.).
7. Brockhaus and Efron Encyclopaedic Dictionary. Vol. IX. St. Petersburg; 1893. 474 p. (In Russ.).
8. Malakhova I. G. Aleksandr Mikhaylovich Karpinsky (1804–1859). History of geology and mining: [website]. Updated 11.11.2022. URL: <http://higeo.ginras.ru/view-record.php?tbl=person&id=1548> (accessed 17.10.2024). (In Russ.).
9. Malakhova I. G. Petr Mikhaylovich Karpinsky (1808–1856). History of geology and mining: [website]. Updated 11.11.2022. URL: <http://higeo.ginras.ru/view-record.php?tbl=person&id=1552> (accessed 17.10.2024). (In Russ.).
10. Aleksandr Petrovich Karpinsky. 26.12.1846(7.01.47)–15.07.1936. All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky: [website]. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/about/history/karpinsky.php> (accessed 17.10.2024). (In Russ.).
11. Feodosiy Nikolaevich Chernyshev. 25.09.1856–15.01.1914. All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky: [website]. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/about/history/chernyshev.php> (accessed 17.10.2024). (In Russ.).
12. The Karpinskys: [website]. URL: <http://www.karpinskie.ru/> (accessed 17.10.2024). (In Russ.).

## Лариса Вячеславовна Бердник

Директор Всероссийской геологической библиотеки

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

[larisa\\_berdnik@karpinskyinstitute.ru](mailto:larisa_berdnik@karpinskyinstitute.ru)

## Larisa V. Berdnik

Director, Russian Geological Library

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia

[larisa\\_berdnik@karpinskyinstitute.ru](mailto:larisa_berdnik@karpinskyinstitute.ru)

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** the author declares no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 07.11.2024  
Одобрена после рецензирования 14.11.2024  
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 07.11.2024  
Approved after reviewing 14.11.2024  
Accepted for publication 28.12.2024

## Требования к структуре и оформлению рукописей статей в научный журнал

Отправляя статьи в редакцию научного журнала, автор(ы) соглашается(ются) с правилами для авторов, порядком рецензирования и этическими принципами научных публикаций, размещенными на сайте журнала «Региональная геология и металлогения» (<https://reggeomet.ru/>).

При подготовке рукописи статьи на русском или английском языке необходимо использовать шрифт текста Arial, размер 12 пт, междустрочный интервал 1,5, абзацный отступ 1,25 см, форматирование по ширине, все поля 20 мм; страницы пронумерованы.

**Структура рукописи** (в одном текстовом документе в формате \*.doc / \*.docx) должна содержать: титульные сведения на русском и английском языках, основной текст статьи, список источников на русском и английском языках, дополнительные сведения об авторах. Файл рукописи должен быть назван так: «Фамилия первого автора. Текст».

**1. Титульные сведения на русском языке** на отдельных строках:

1.1. *Название рубрики журнала:* РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ или МЕТАЛЛОГЕНИЯ.

1.2. *Тип статьи* (например, «научная статья» или «рецензия на статью»).

1.3. *Индекс УДК.*

1.4. *Название статьи*, кратко и точно отражающее ее содержание (первое слово приводят с прописной буквы, остальные слова — со строчной).

1.5. *Имя, отчество и фамилию автора(-ов).*

1.6. *Наименование организации, название города и страны* в полной форме (без обозначения организационно-правовой формы).

1.7. *Электронный адрес автора, ответственного за переписку* (без слова "e-mail").

1.8. *Аннотацию* объемом 150–250 слов, включающая основную тему исследования, его цель, методы, основные результаты и выводы; она должна отражать новизну, научное и практическое значение.

1.9. *5–7 ключевых слов* и (или) словосочетаний (через запятую), соответствующих теме статьи и отражающих ее предметную, терминологическую область.

1.10. *Благодарности* организациям, научным руководителям и другим лицам, оказавшим помощь в

подготовке статьи (при наличии); сведения о грантах, финансировании подготовки и публикации статьи (при наличии).

1.11. *Библиографическую запись для цитирования.*

**2. Титульные сведения на английском языке**, которые соответствуют п. 1.

Для названий рубрик журнала используются слова "REGIONAL GEOLOGY" или "METALLOGENY"; для примеров *типа статьи* — "original article" или "review article".

*Инициалы и фамилию автора(ов)* предоставляют в транслитерированной форме на латинице; обычно используется стандарт транслитерации BGN.

**3. Основной текст статьи:**

3.1. *Максимальный объем статьи* — от 16 000 до 40 000 знаков с пробелами, включая иллюстрации, таблицы и список источников.

3.2. Каждая статья содержит *разделы*: «Введение», «Материалы и методы», «Результаты», «Обсуждение» и «Заключение»; допускается деление основного текста статьи на другие тематические рубрики и подрубрики.

3.3. *Заголовки* внутри статьи размещают на отдельной строке.

3.4. *Единицы измерения* соответствуют системе СИ, а используемые сокращения (кроме общепринятых) раскрыты в тексте.

3.5. Простые математические или химические *символы и формулы* имеют свою нумерацию и ссылки в тексте (их располагают на отдельной строке), сложные представляют с использованием редактора формул Microsoft Equation.

3.6. Текст статьи содержит *иллюстрации* (рисунки, схемы, диаграммы), которые имеют свою нумерацию и ссылки в тексте (например, «(рис. 1)» ... «(рис. 2)»).

3.7. *Разрешение* фотографий и полутонных иллюстраций — не менее 300 dpi; векторных иллюстраций — 600 dpi.

3.8. *Цветные графические* ориентированы на четырехкрасочную печать (СМΥК); черный цвет шрифта и линий задается параметром 100 % Black.

3.9. Для *сохранения масштаба и пропорций объектов* целесообразно представить иллюстрации шириной 8 или 16,9 см, высотой до 24,9 см; размеры букв



и цифр на иллюстрациях, выполненные шрифтом Arial / Arial Narrow, должны быть не менее 2 мм, толщина линий — не менее 0,2 мм; на всех осях графиков указывают откладываемые величины и единицы их измерения.

3.10. *Оригинал* каждой иллюстрации (рисунка, схемы, диаграммы) и таблицы дополнительно предоставляют в отдельных файлах. Иллюстрации сохраняют в форматах: \*.cdr (Corel Draw до версии 15.0), \*.pdf, \*.eps, \*.tif или \*.jpg (качество изображения — 12); таблицы и подписи иллюстраций — \*.doc, \*.docx. Каждый файл должен быть назван так: «Фамилия первого автора. Рис. 1», «Фамилия первого автора. Табл. 1».

3.11. Таблицы максимального размера 16,9 × 24,9 см набирают шрифтом 9 пт, через один интервал; графы таблицы разделяются вертикальными линиями.

3.12. *Подписи иллюстраций* (например, «Рис. Номер. Название») и названия таблиц, их источники приводят на русском и английском языках; для объединенных рисунков требуется общая подпись (например, «Рис. 1, а», «Рис. 1, б»). Надписи и подписи к иллюстрациям и таблицам должны содержать буквы латинского, а не кирилловского алфавита (например, «a, b, c, d», а не «а, б, в, г»). Оригиналы объединенных рисунков не должны содержать буквы латинского алфавита; буквы, расположенные справа внизу от рисунка, должны быть включены только в основной текст статьи.

Для отправки рецензентам прикладывается единый файл в формате \*.doc / \*.docx или \*.pdf, включающий текст, иллюстрации и таблицы.

#### 4. Список источников на русском языке:

4.1. Включает расположенных в порядке цитирования 10–30 научных источников, в том числе желательно зарубежных.

4.2. Оформляют в виде пронумерованных *затекстовых библиографических ссылок* по ГОСТ Р 7.0.5–2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

4.3. *Отсылки на источники* оформляют в квадратных скобках, указывая порядковый(ые) номер(а) источника(ов) и при необходимости цитируемую страницу (например, [12; 37], [6, с. 149]).

5. **Список источников на английском языке**, нумерация которых соответствует п. 4 и оформляется согласно требованиям, принятым в журнале.

#### 6. Дополнительные элементы на русском языке на отдельных строках:

6.1. *Дополнительные сведения об авторе(ах)*: имя, отчество и фамилия автора(ов); ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), должность, полное название места работы, рабочий адрес (улица, дом, населенный пункт, страна, индекс); идентификационные номера (при наличии): ORCID, Scopus Author ID, ResearcherID (Web of Science), SPIN-код автора (РИНЦ); *контактные данные автора(ов)*: контактный телефон, адрес электронной почты.

6.2. Сведения о вкладе каждого автора.

6.3. Указание об отсутствии или наличии *конфликта интересов* и детализация.

7. **Дополнительные элементы на английском языке**, которые соответствуют п. 6.

#### Контактные данные журнала

**Адрес редакции:** 199106, Россия, Санкт-Петербург, Средний пр., д. 74

**Телефон редакции:** +7 (812) 328-90-90, доб. 2323

**E-mail:** izdatel@karpinskyinstitute.ru



Редакционная коллегия



Текущий номер

REGIONAL GEOLOGY AND METALLOGENY

# РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Российский научный журнал | Russian scholarly journal | Том 31 | № 4 (100)

«Региональная геология и металлогения» — отраслевой рецензируемый научный журнал, в котором публикуются статьи, посвященные результатам регионального геологического изучения недр России и ближайшего зарубежья, выявлению закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых, данным метаморфических, стратиграфических, палеонтологических, геохимических и других специализированных исследований.

*Учредитель и издатель:*

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского».

Журнал издается с 1993 года с периодичностью четыре раза в год в печатном и электронном видах с полноцветными рисунками на русском и английском языках.

**Научный журнал «Региональная геология и металлогения» включен:**

— в перечень рецензируемых научных изданий ВАК (K2)

— индексируется в РИНЦ

## ПОДПИСКА В ОТДЕЛЕНИЯХ СВЯЗИ

Индекс в подписном каталоге ГК «Урал-Пресс»: 015348

По вопросам приобретения обращаться в издательство  
по телефону: +7 (812) 328-90-90, доб. 2323

Regional Geology  
and Metallogeny  
ISSN 0869-7892



9 770869 789200