

REGIONAL GEOLOGY AND METALLOGENY

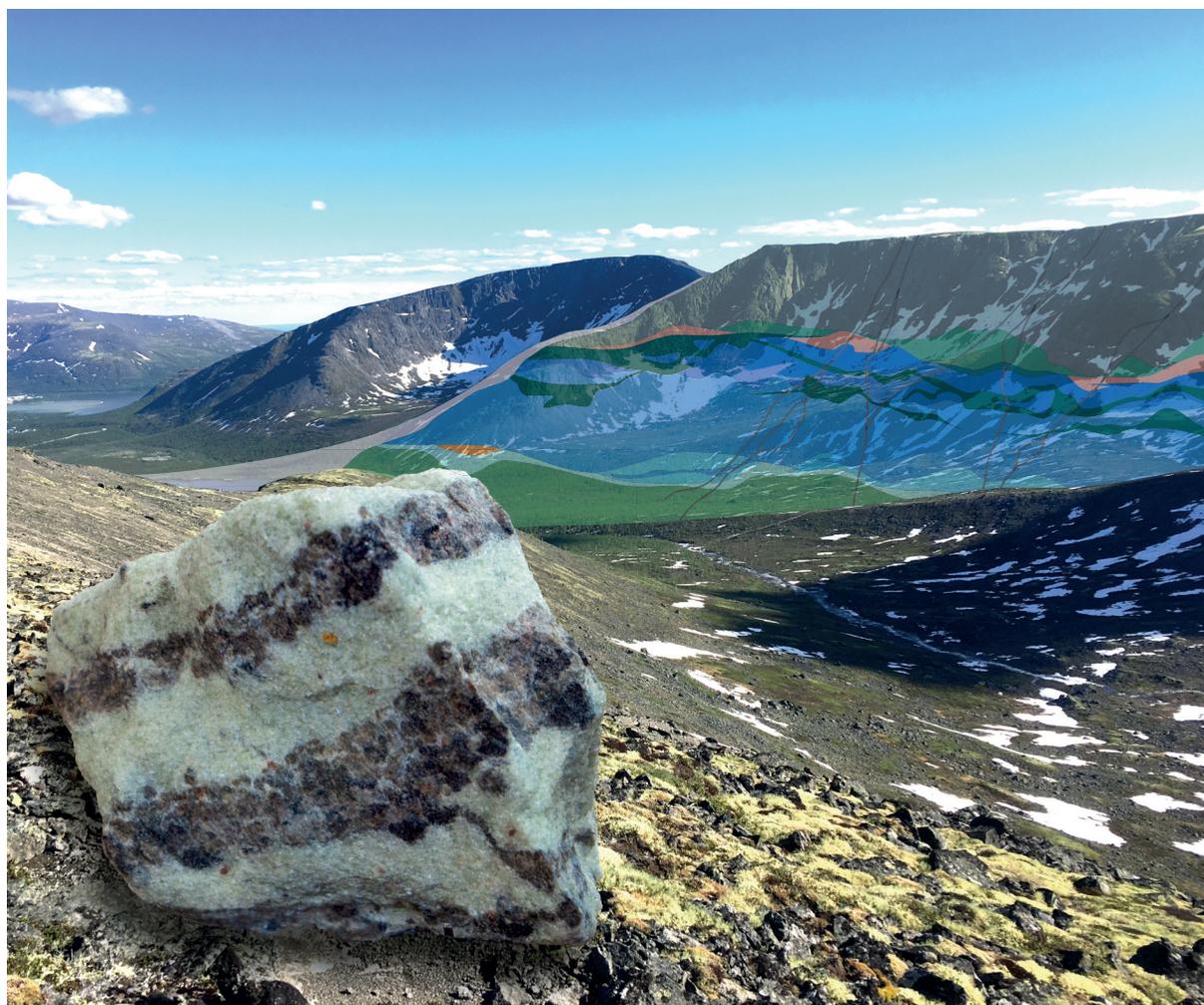
ISSN 0869-7892 (Print)

# РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Российский научный журнал | Russian scholarly journal | Том 32 | № 2 (102)



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



**Стр. 22**

Геологическое строение и история геологического развития  
Нарвско-Лужской предглинтовой низменности  
в позднем неоплейстоцене и голоцене

**Стр. 107**

Перспективы ураноносности юга европейской части России  
(по результатам геохимических исследований)

**ТОМ 32**

**№ 2 (102)**

**2025**

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 32**

**№ 2 (102) 2025**

Выходит 4 раза в год

**Volume 32**

**no. 2 (102) 2025**

Issued 4 times a year

Санкт-Петербург  
St. Petersburg

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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)

**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)

## EDITORIAL BOARD

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

Editorial Council:

**V. V. Arkadiev**, 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)

**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, FEI 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.,  
VNIIGNI (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.elpub.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.elpub.ru/>

## РЕДАКЦИЯ

Заведующий издательством О. В. Ярцева  
Научный редактор Е. Е. Зорина, канд. пед. наук, доц.  
Литературный редактор А. А. Миндрик  
Верстальщик А. С. Смирнова  
Технический редактор А. С. Смирнова

Оформление обложки А. В. Лукьянов  
с использованием материалов  
[Lousbiorg] / <https://commons.m.wikimedia.org>

## EDITORIAL TEAM

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

Cover design A. V. Lukoyanov  
The cover design source is  
[Lousbiorg] / <https://commons.m.wikimedia.org>

## 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 20.06.2025. Дата выхода в свет 30.06.2025.  
Печ. л. 18,75. Уч.-изд. л. 21,21. Формат 60×84/8.  
Тираж 70 экз. Заказ № 80000970.

## 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 20.06.2025. Published 30.06.2025.  
Printer's sheet 18.75. Publisher's record sheet 21.21. Format 60×84/8.  
Circulation 70 copies. Order № 80000970.

## СОДЕРЖАНИЕ

### РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

---

<i>П. В. Химченко, М. А. Ткаченко</i> Региональное геологическое изучение недр Волго-Уральской нефтегазоносной провинции .....	6
<i>А. Ю. Сергеев, Д. В. Рябчук, О. А. Ковалева, Л. М. Буданов, В. А. Жамойда, И. А. Неевин, Д. В. Герасимов</i> Геологическое строение и история геологического развития Нарвско-Лужской предглинтовой низменности в позднем неоплейстоцене и голоцене .....	22
<i>М. Н. Голобурдина, С. А. Граханов, А. И. Дак, Т. Н. Зубова, В. Г. Мальковец, В. Ф. Проскурнин, А. В. Тарасов</i> Новые данные о возрасте и сохранности архейского блока фундамента под Накынским кимберлитовым полем, Республика Саха (Якутия) .....	44
<i>В. Я. Вукс, Ю. С. Репин, А. Ю. Вовшина</i> Новый вид аммоноидей из верхней юры бассейна реки Печора .....	62
<i>Э. А. Бадалян, И. Г. Чернова, А. С. Егоров</i> Седиментационная модель пласта Ю2-1 тюменской свиты (ЯНАО), полученная на основе комплексного анализа геолого-геофизической информации .....	69
<i>Г. А. Бимурзаев, А. М. Ахунжанов, Э. Ш. Курбанов</i> Прогнозная оценка инженерно-геологических условий рудных месторождений Центральных Кызылкумов .....	82
<i>И. А. Зинченко</i> Обозначения состава и структур горных пород при выполнении бассейнового моделирования .....	93

### МЕТАЛЛОГЕНИЯ

---

<i>Л. А. Крinoчкин, О. К. Крinoчкина, В. А. Килипко, В. И. Блоков</i> Перспективы ураноносности юга европейской части России (по результатам геохимических исследований) .....	107
<i>В. В. Oganiyozov, M. M. Pirnazarov</i> Geochemical halos of gold mineralization in the Geokhimicheskoe ore occurrence, Kuldzhuktau region (Uzbekistan) .....	117

### ДИСКУССИЯ

---

<i>О. Н. Малых</i> Определение коренных источников алмазоносных россыпей по соотношению примесей азота и изотопного состава углерода в алмазах Южной Африки .....	139
---	-----

## CONTENTS

### REGIONAL GEOLOGY

---

<i>P. V. Khimchenko, M. A. Tkachenko</i> Regional geological study of the Volga-Ural oil and gas province subsoil .....	6
<i>A. Yu. Sergeev, D. V. Ryabchuk, O. A. Kovaleva, L. M. Budanov, V. A. Zhamoida, I. A. Neevin, D. V. Gerasimov</i> Geological structure and geological development history of the Narva-Luga Klint Bay in the Late Pleistocene and Holocene .....	22
<i>M. N. Goloburdina, S. A. Grakhanov, A. I. Dak, T. N. Zubova, V. G. Malkovets, V. F. Proskurnin, A. V. Tarasov</i> New data on the age and preservation of the Archean basement block under the Nakyn kimberlite field, Republic of Sakha (Yakutia) .....	44
<i>V. Ja. Vuks, Yu. S. Repin, A. Yu. Vovshina</i> A new species of ammonoids from the Upper Jurassic of the Pechora River basin .....	62
<i>E. A. Badalyan, I. G. Chernova, A. S. Egorov</i> Sedimentation model of the Middle Jurassic Tyumen Formation layer U2-1 (Yamalo-Nenets Autonomous Okrug), based on the comprehensive analysis of geological and geophysical data .....	69
<i>G. A. Bimurzaev, A. M. Akhunzhanov, E. Sh. Kurbanov</i> Predictive assessment of ore deposit geotechnical conditions in the Central Kyzylkum region .....	82
<i>I. A. Zinchenko</i> Symbolization of rock composition and structure in basin modeling .....	93

### METALLOGENY

---

<i>L. A. Krinochkin, O. K. Krinochkina, V. A. Kilipko, V. I. Blokov</i> Prospects for uranium potential in South European Russia (based on geochemical studies) .....	107
<i>B. B. Oganiyozov, M. M. Pirnazarov</i> Geochemical halos of gold mineralization in the Geokhimicheskoe ore occurrence, Kuldzhuktau region (Uzbekistan) .....	117

### DISCUSSION

---

<i>O. N. Malykh</i> Determination of diamondiferous placer primary sources by the ratio of nitrogen traces and carbon isotope composition in South African diamonds .....	139
---	-----

Научная статья

УДК 550.8:528:553.98(470.4/.5)

doi:10.52349/0869-7892\_2025\_102\_6-21

**Региональное геологическое изучение  
недр Волго-Уральской нефтегазоносной  
провинции****П. В. Химченко, М. А. Ткаченко** 

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт  
им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,  
maxim\_tkachenko@karpinskyinstitute.ru 

**Ключевые слова:** Восточно-Европейская платформа, нефтяные месторождения, нефтегазоносные комплексы, Цифровой двойник недр России, комплексы геологических карт, геологическое строение, геологические развитее, нефтегазовые ресурсы

**Для цитирования:** Химченко П. В., Ткаченко М. А. Региональное геологическое изучение недр Волго-Уральской нефтегазоносной провинции // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 6–21. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_6-21](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_6-21)

Original article

UDC 550.8:528:553.98(470.4/.5)

doi:10.52349/0869-7892\_2025\_102\_6-21

**Keywords:** Eastern European Platform, oil fields, oil and gas complexes, Digital Twin of Russian Subsoil, geological maps sets, geological structure, geological development, oil and gas resources



© П. В. Химченко, М. А. Ткаченко, 2025

**Аннотация.** В рамках многолетнего регионального геологического изучения недр Российской Федерации во Всероссийском научно-исследовательском геологическом институте им. А. П. Карпинского на территорию страны был создан уникальный массив геолого-картографической информации, включающий комплекты трех поколений геологических карт масштабов 1 : 200 000 и 1 : 1 000 000, сводные и обзорные карты масштаба 1 : 2 500 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа, в том числе геологическую карту, карты глубинного строения и геофизических аномалий, карты раннего и позднего докембрия и многие другие. Этот массив данных, размещенный на сайте института в составе национального геолого-картографического ресурса «Цифровой двойник недр России», является уникальной сводкой по геологическому строению Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, стратиграфии ее осадочного чехла и тектонической эволюции региона, которые кратко освещены в данной работе. Текущие работы по геологическому картографированию Волго-Уральского региона в рамках мониторинга Госгеолкарты-1000 направлены на детализацию и актуализацию геологических, геохимических, стратиграфических и других материалов. Эти исследования позволяют установить взаимосвязь между геологическими особенностями территории и ее нефтегазоносным потенциалом, что позволяет сохранять региону важную роль в нефтегазовой отрасли России на долгосрочную перспективу.

**Regional geological study  
of the Volga-Ural oil and gas province subsoil****P. V. Khimchenko, M. A. Tkachenko** 

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia, maxim\_tkachenko@karpinskyinstitute.ru 

**Abstract.** The long-term regional geological study of the Russian Federation subsoil at the All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky resulted in establishing an original array of geological and cartographic data for the country's territory, which has geological maps sets of three generations (scales of 1 : 200,000 and 1 : 1,000,000), integrated and review maps of the Russian Federation and its continental shelf (scale of 1 : 2,500,000), including the geological map, deep structure and geophysical anomalies maps, Early and Late Precambrian maps, etc. This data set located on the Institute's website as part of the national geological and cartographic resource *Digital Twin of Russian Subsoil* is a unique record including geological structure of the Volga-Ural oil and gas province, its sedimentary cover stratigraphy, and the region's tectonic evolution, which the paper describes briefly. The current work on the Volga-Ural region geological mapping, which is aligned

**For citation:** Khimchenko P. V., Tkachenko M. A. Regional geological study of the Volga-Ural oil and gas province subsoil. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (2): 6–21. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_6-21](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_6-21)

with monitoring the State Geological Map (scale of 1 : 1,000,000), involves detailing and updating geological, geochemical, stratigraphic, and other data. The studies aid in connecting geological characteristics of the territory and its oil and gas potential, which enables the region to retain an important role in the Russian oil and gas industry for the long run.

## ВВЕДЕНИЕ

Волго-Уральская нефтегазоносная провинция, расположенная в восточной части Восточно-Европейской платформы от правого берега Волги до западных склонов Урала, представляет собой разделенную на несколько структурных элементов антеклизу фундамента платформы. Центральную часть занимает Татарский свод, где сосредоточена основная масса нефтяных месторождений. На северо-востоке выделяется Пермско-Башкирская антеклиза, а на юге — Жигулевско-Оренбургская антеклиза; эти своды разделены вытянутыми прогибами (депрессиями) субширотного простираения. Провинция исторически является одним из главных нефтегазоносных регионов России: на сегодня известно около 4000 месторождений (включая гигантские Ромашкинское, Арланское и др.) и отдельных залежей нефти и газа.

В рамках многолетнего регионального геологического изучения недр Российской Федерации во Всероссийском научно-исследовательском геологическом институте им. А. П. Карпинского (далее — ФГБУ «Институт Карпинского») создан крупный массив геолого-картографических данных, охватывающий территорию страны, включая Волго-Уральскую нефтегазоносную провинцию. В его состав вошли комплекты двух поколений геологических карт масштаба 1 : 200 000 и трех поколений геологических карт масштаба 1 : 1 000 000, а также сводные и обзорные карты масштаба 1 : 2 500 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа. Среди них — геологическая и тектоническая карты, карты глубинного строения и геофизических аномалий, карта четвертичных образований, прогнозно-минерагеническая карта на твердые полезные ископаемые и карта закономерностей размещения на нефть и газ. На территорию Волго-Уральской провинции составлены стратиграфические схемы корреляции, минерагенические блоки легенд серий листов Госгеолкарты-1000 на нефтегазоносные комплексы и другие геологические материалы. Этот массив данных, размещенный на сайте ФГБУ «Институт Карпинского» в составе национального геолого-картографического ресурса (далее — НГКР) «Цифровой двойник недр России» [1; 2], является уникальной информационной базой по геологическому строению фундамента Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, стратиграфии ее осадочного чехла и тектонической эволюции региона. В статье кратко представлены результаты геологического картографирования Волго-Уральского региона, полученные в рамках разномасштабного государственного геологического картографирования, работ по созданию глубинных геофизических карт, карт потенциальных полей и карт-срезов для раннего и позднего докембрия.

## Государственные геологические карты масштаба 1 : 200 000, 1 : 1 000 000

Государственные геологические карты являются научной геологической основой рационального природопользования Российской Федерации, ориентированной на накопление, хранение и анализ информации о геологическом строении и минерагеническом потенциале страны [3; 4]. На территорию Волго-Уральской провинции к настоящему времени составлено 85 комплектов государственных геологических карт масштаба 1 : 200 000 первого и второго поколения и 112 комплектов геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения (рис. 1), георастры которых размещены в НГКР «Цифровой двойник недр России». Более 20 лет ведется постоянное обновление Геологической карты России и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000 [1; 5] (рис. 2). С 2020 г. институт приступил к цифровой трансформации ресурса полистных Госгеолкарт-1000/3, перейдя к мониторингу Государственной геологической карты и формированию Единой геолого-картографической модели территории Российской Федерации и ее континентального шельфа масштаба 1 : 1 000 000 [3].

В картах и объяснительных записках к ним, также размещенных в НГКР «Цифровой двойник недр России» [1], собран огромный и уникальный ресурс материалов о геологическом строении, развитии, литологических, палеонтологических, геохимических, геохронологических и других характеристиках фундамента и осадочного чехла региона, приведены схемы районирования территории и корреляции стратиграфических подразделений и магматических комплексов, описано тектоническое развитие региона. Разный уровень обобщения геологических данных — от крупномасштабных карт (1 : 200 000) к мелкомасштабным (1 : 1 000 000) и к сводным и обзорным картам (1 : 2 500 000) — позволяет выявлять как детальные характеристики осадочных и магматических образований региона, так и закономерности геологического строения и размещения полезных ископаемых, в том числе углеводородов.

Надо отметить, что геологическое строение Волго-Уральской нефтегазоносной провинции привлекает внимание исследователей уже более 300 лет. За этот период изучением геологии и нефтегазоносного потенциала Волго-Уральского региона занимались не только специализированные на поисковые и разведочные задачи учреждения, но и организации разных ведомств, включая академические<sup>1</sup> [6; 7].

<sup>1</sup>Геология Волго-Уральской нефтегазоносной провинции : учеб. пособие / С. В. Багманова [и др.]. Оренбург : ОГУ, 2019. 127 с.

При геологическом картографировании эти знания аккумулируются в геологические карты и объяснительные записки, создавая сводку по геологии региона, доступную недропользователям (например, [8; 9]).

За долгие годы изучения Волго-Уральской провинции было установлено, что осадочный чехол региона сформирован в результате нескольких крупных циклов осадконакопления и залегают на архейском кристаллическом фундаменте. Основание чехла сложено отложениями позднего докембрия, заполняющими рифтогенные впадины фундамента. В рифейское время (нижний докембрийский цикл) в авлакогенах накапливались преимущественно терригенные континентальные отложения — конгломе-

раты, песчаники и алевролиты общей мощностью от нескольких сотен метров до 5 км. В верхнем рифее — венде (верхнедокембрийский цикл) сформировались толщи грубых континентальных обломочных пород, сменяющиеся морскими терригенными и карбонатными отложениями мощностью до 3 км. Ряд позднедокембрийских подразделений, таких как, например, нижняя и верхняя байлинские свиты, залегают непосредственно на кристаллическом фундаменте и фиксируют ранние этапы прогибания платформы. Следует отметить, что породы кембрийского возраста на территории Волго-Уральской провинции отсутствуют, а ордовикские и силурийские отложения распространены очень ограниченно. Считается, что на большей части провинции в раннем палеозое

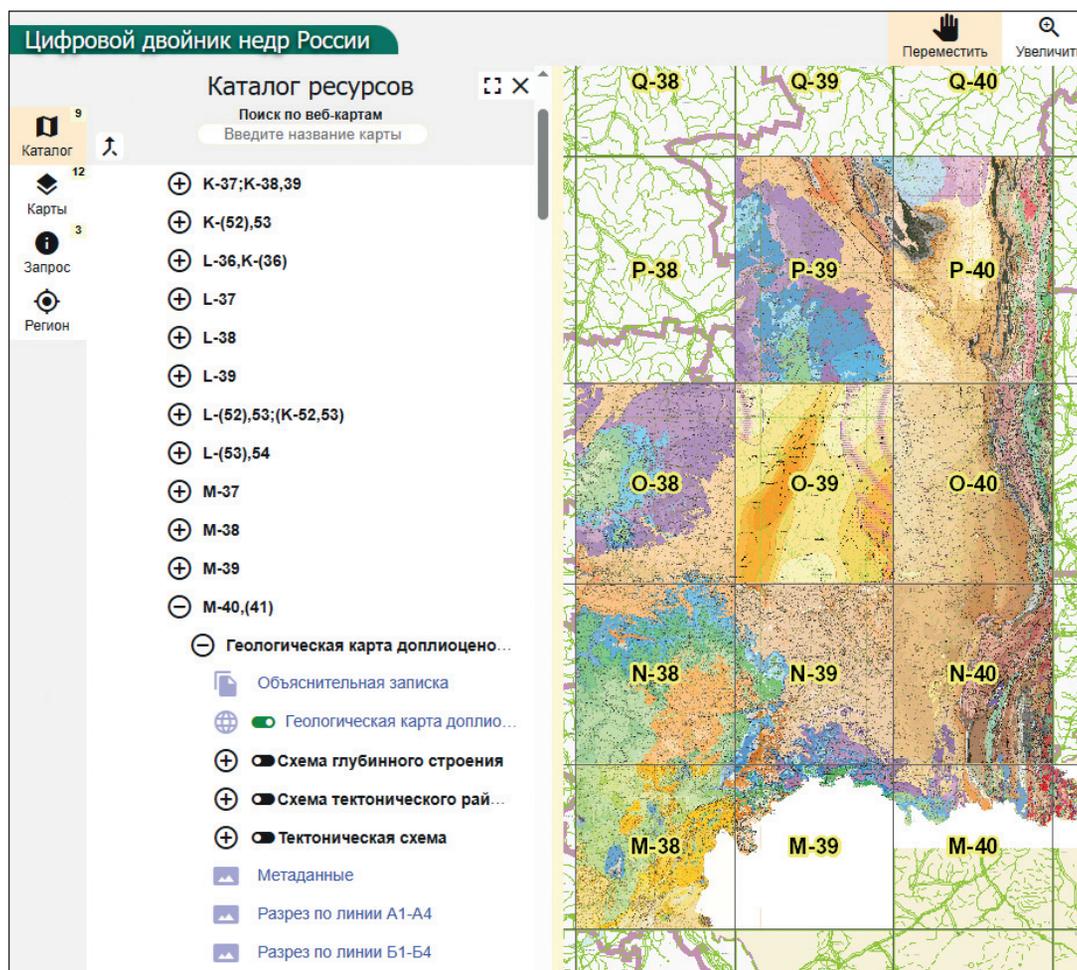


Рис. 1. Массив полистных цифровых материалов, размещенный на сайте ФГБУ «Институт Карпинского» в составе НГКР «Цифровой двойник недр России» (на территорию Европейской части России)

Из георастров полистных комплектов геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 сформировано единое полотно на территорию Волго-Уральской нефтегазоносной провинции

Источник: по [1; 5]

Fig. 1. Sheeted digital data set located on the Karpinsky Institute’s website as part of the national geological and cartographic resource *Digital Twin of Russian Subsoil* (for the European Russia territory)

Geological bitmaps of sheeted geological map sets (scale of 1 : 1,000,000) form a single sheet of the Volga-Ural oil and gas province territory

Source: from [1; 5]

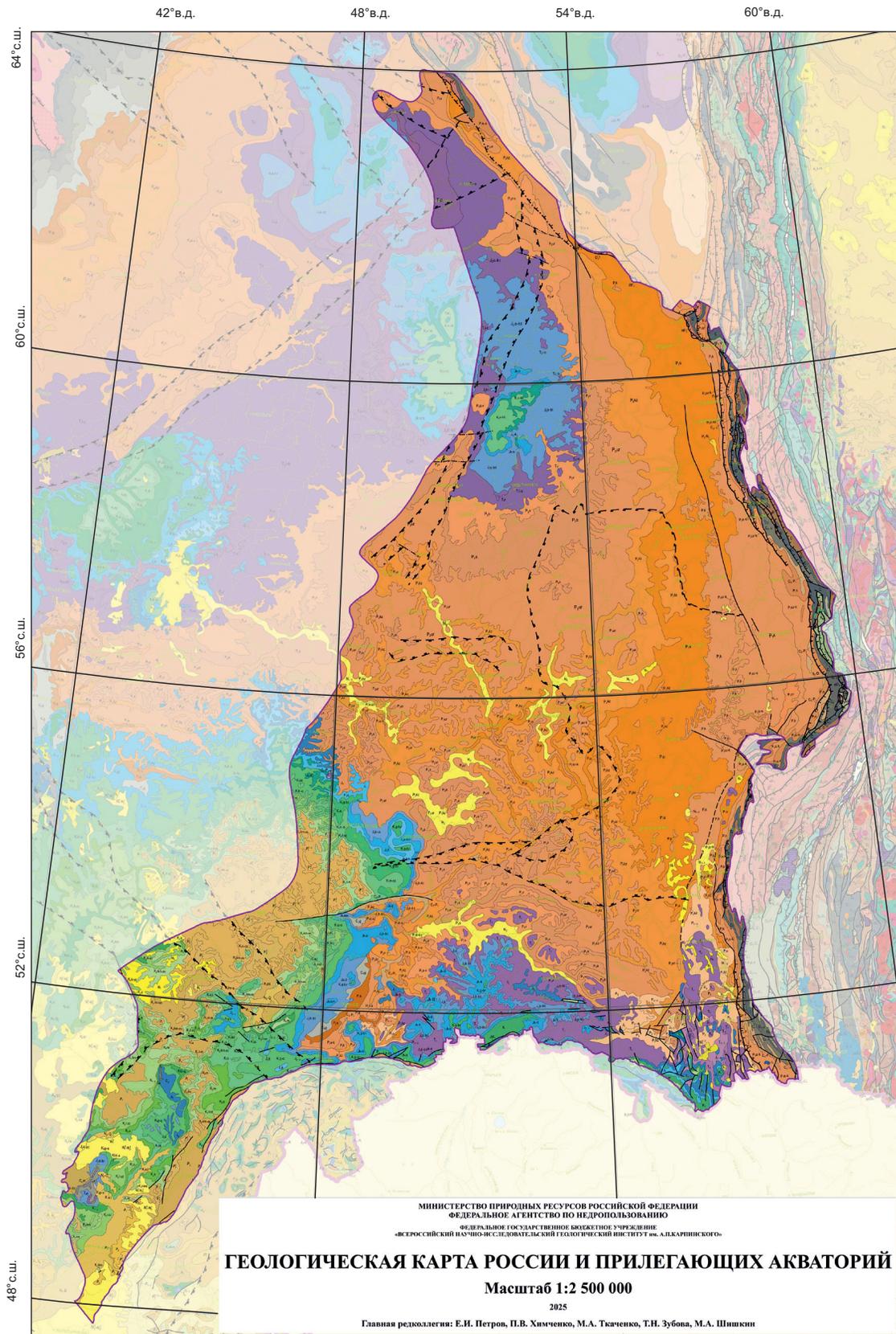


Рис. 2. Волго-Уральская нефтегазоносная провинция на Геологической карте России и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000

Источник: по [1; 5]

Fig. 2. Volga-Ural oil and gas province on the geological map of Russia and adjacent water areas (scale of 1 : 2,500,000)

Source: from [1; 5]

осадконакопление не происходило, или осадки позднее были удалены эрозией. Исключение составляют участки в Предуральском краевом прогибе (Восточно-Оренбургское, Соль-Илецкое поднятие), где обнаружены ордовикско-силурийские толщи, связанные с пограничными зонами Урала.

Платформенное осадконакопление возобновилось с середины девона. Раннегерцинский цикл охватывает период от нижнего девона до турнейского яруса нижнего карбона. В нижнем девоне (кемерский и такатинский горизонты) и начале среднего девона здесь преобладали терригенные отложения: прибрежно-морские песчаники и алевролиты, часто переслаивающиеся с лагунными глинистыми породами. Наиболее значительной мощности девонская терригенная толща достигает на севере и юге региона, где отмечается приток обломочного материала с возвышенных областей Балтийского щита и Московской синеклизы. На восточном склоне Татарского свода и в Камско-Кинельской системе прогибов выделяется зона повышенного отложения терригенных пород песчаной размерности. В позднедевонское время широкое развитие приобретают морские карбонатные фации — формируются рифовые постройки и банки в мелководных зонах. Многочисленные залежи углеводородов (верхнедевонско-турнейский карбонатный нефтегазоносный комплекс) здесь связаны с биогермами, рифовыми постройками, а также структурами их облекания. Также характерны «нетрадиционные» коллекторы в породах доманикового типа, представленные трещиноватыми битуминозными аргиллитами.

В пределах узких прогибов сохраняются глубоководные обстановки с накоплением тонкослоистых глинисто-кремнистых осадков. Именно в это время (поздний фамен — турне) в депрессиях Камско-Кинельского авлагодена формируются обогащенные органикой битуминозные известково-кремнистые черные сланцы — доманиковые отложения (доманиковая свита). Содержание органического вещества достигает максимума в нижнефаменских–верхнефранских слоях. Общая мощность девонско-нижнекарбонатного цикла колеблется от 300 до 1000 м.

В конце турне — начале визе нижнего карбона наблюдался перерыв и частичная эрозия, обозначившая границу позднегерцинского этапа развития осадочного чехла, охватывающего позднее визе — башкирский век (верхний нижний — нижний средний карбон). Основание этого этапа сложено терригенными визейскими толщами, заполняющими неравномерности рельефа после предыдущего цикла и прикрывающими эродированные рифовые массивы девона. Выше залегает мощная толща морских известняков позднего визе — башкирского века, которые часто, особенно на юге и востоке региона, служат ловушками (верхневизейско-башкирский карбонатный нефтегазоносный комплекс). В позднебашкирское время в регионе начинают поступать первые порции терригенного материала с воздымающегося Урала.

В начале московского века отмечается интенсивное поступление терригенного материала с востока, и формируются обширные дельтово-аллювиальные

равнины, наклоненные в сторону формирующегося Предуральского прогиба. Нижнемосковские, касимовские и гжельские отложения представлены чередованием континентальных и мелкоморских песчано-алевролитовых и карбонатных толщ. Уже в начале перми на востоке провинции накопилась мощная континентальная терригенно-карбонатная моласса, свидетельствующая о росте Уральских гор.

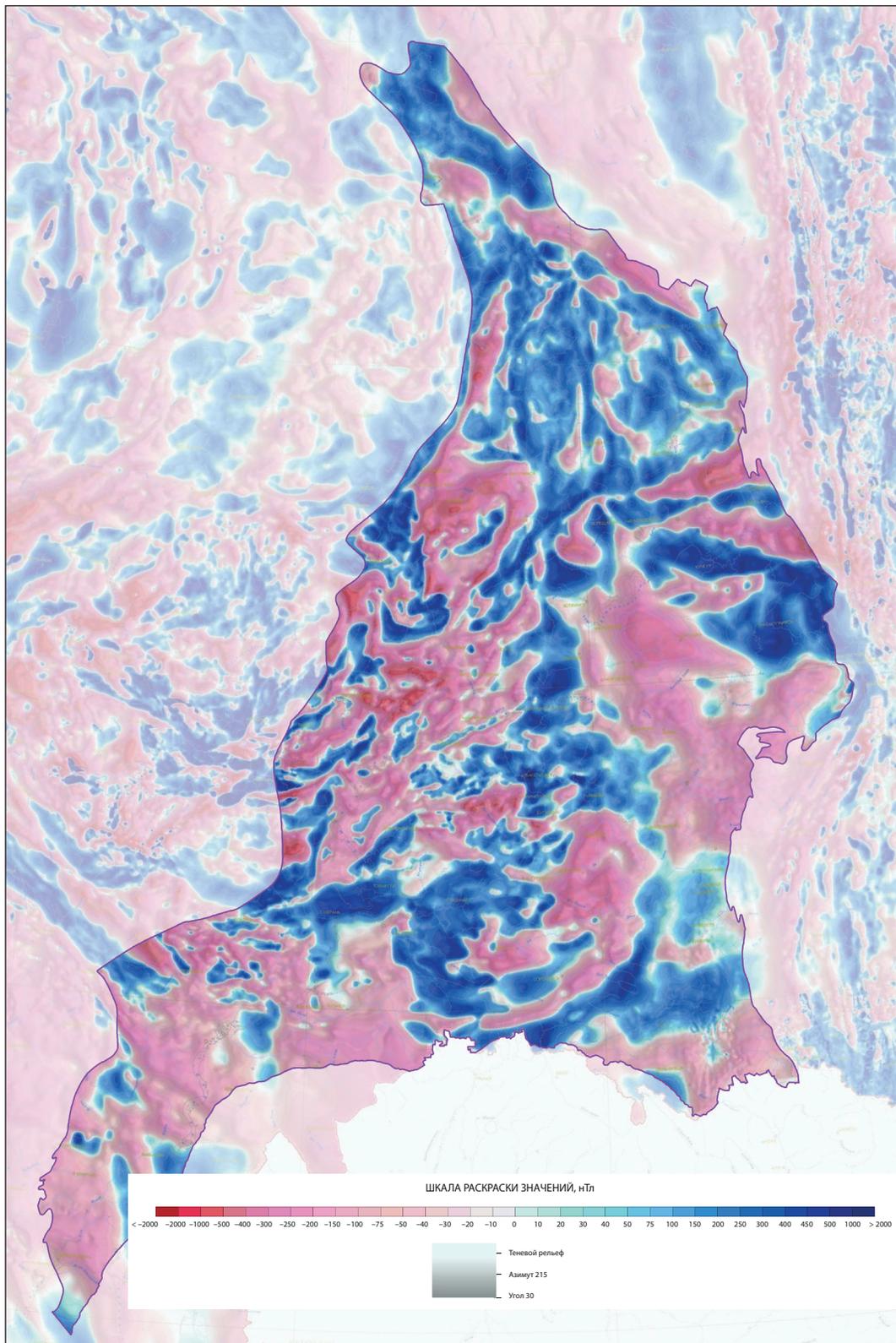
Уральский этап охватывает вторую половину перми — время максимального влияния уральской складчатости на обстановку осадконакопления в регионе. Так, начиная с кунгурского времени, в Предуральском прогибе и прилегающих частях платформы в разрезах появляются соли, а в казанское время начали формироваться мощные эвапоритовые формации. В среднем и верхнем казанском и татарском ярусах морские карбонатные отложения чередовались с терригенными красноцветными толщами. Внутриплатформенные своды (Татарский и др.) в это время испытывали поднятие и размыв, поэтому мощность верхнепермских отложений на них незначительна, тогда как в краевых впадинах (Прикаспийская, Предуральская) она превышает 1,5 км. В конце перми значительная часть региона оказалась выше уровня моря.

Мезозойский и кайнозойский этапы характеризуются длительной паузой в осадконакоплении и незначительным формированием континентальных отложений, сохранившихся лишь фрагментарно по окраинам (незначительные толщины триасовых красноцветов в Прикаспии и местами вдоль Волги, юрско-меловые отложения на западе и севере окраин).

Таким образом, история развития Волго-Уральской провинции охватывает события от протерозойского рифтогенеза до герцинской складчатости, создавшие мозаику поднятий и впадин, послуживших разнообразными структурными ловушками и зонами генерации углеводородов в широком стратиграфическом интервале от верхнего протерозоя до верхней перми.

#### **Карты аномального магнитного и гравиметрического поля масштаба 1 : 2 500 000**

Структура фундамента Волго-Уральской провинции отражается на картах аномального магнитного и гравиметрического полей (рис. 3, 4). Созданная во ФГБУ «Институт Карпинского» карта магнитных аномалий в изолиниях масштаба 1 : 2 500 000 дает представление о неоднородности поля, обусловленной выходящими на поверхность и находящимися на глубине геологическими образованиями. Она была составлена путем уменьшения имеющихся для данной территории карт изолиний масштабов 1 : 200 000–1 : 1 000 000 с последующей генерализацией поля. Карта аномального гравитационного поля масштаба 1 : 2 500 000 характеризует плотностные и структурные неоднородности, включая погребенные и выходящие на поверхность геологические образования. Гравиметрическая карта



**Рис. 3. Фрагмент на Волго-Уральскую нефтегазоносную провинцию Актуализированной карты аномального магнитного поля России и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000**

Источник: URL: [https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map\\_base=0=1](https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map_base=0=1) (дата обращения: 03.06.2025)

**Fig. 3. Fragment of the Volga-Ural oil and gas province, the updated anomalous magnetic field map of Russia and adjacent water areas (scale of 1 : 2,500,000)**

Source: URL: [https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map\\_base=0=1](https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map_base=0=1) (accessed 03.06.2025)



**Рис. 4. Фрагмент на Волго-Уральскую нефтегазоносную провинцию Актуализированной гравиметрической карты России и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000**

Источник: URL: [https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map\\_base=0=1](https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map_base=0=1) (дата обращения: 03.06.2025)

**Fig. 4. Fragment of the Volga-Ural oil and gas province, the updated gravity map of Russia and adjacent water areas (scale of 1 : 2,500,000)**

Source: URL: [https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map\\_base=0=1](https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map_base=0=1) (accessed 03.06.2025)

представляется в условном уровне в изолиниях с сечением (в зависимости от сложности поля)  $\pm 2$  или  $\pm 5$  мГал. Для ее построения используется регулярная матрица  $2,5 \times 2,5$  км, которая конвертируется в картографическую — в виде карты изолиний.

Аномальное магнитное поле региона отличается выраженной зональностью: восточная часть Волго-Уральской провинции характеризуется широкими аномалиями большой амплитуды с востоко-северо-восточным трендом, связанными с магнитными породами кристаллического фундамента. За Уральским разломом наблюдаются более коротковолновые аномалии северного простирания, ассоциированные с палеозойскими складчатыми структурами. Карта гравиметрических аномалий показывает мозаичную картину, отражающую чередование положительных и отрицательных аномалий над поднятиями и впадинами фундамента Восточно-Европейской платформы. Ярко выражены гравитационные минимумы над Прикаспийской впадиной и вдоль Предуральского прогиба на востоке. Вдоль Уральской горной цепи, напротив, протягивается линейная зона положительных гравитационных аномалий, обусловленная высокоплотными породами и глубинными массами складчатого пояса.

В целом потенциальные поля подтверждают существование крупных тектонических блоков и глубинных разломов, сформированных в докембрии и возобновивших свою активность во время герцинского этапа.

### **Карты глубинного строения масштаба 1 : 2 500 000**

На глубинных геофизических разрезах выделяются главные разделы сред — подошва земной коры (граница Мохоровичича) и подошва осадочного чехла. На основе сейсмических данных в совокупности с данными рельефа и поля силы тяжести были построены площадные распределения (карты) этих границ — глубины залегания подошвы земной коры и осадочного чехла (рельеф разновозрастного фундамента). Производными этих карт являются карты мощности: земной коры, осадочного чехла и консолидированной земной коры [10].

Карта мощности земной коры (рис. 5) считается основной при глубинных исследованиях, поскольку именно положение подошвы земной коры (границы Мохоровичича) определяет ее деление на два принципиально различных типа — океаническую и континентальную коры. Оценка положения подошвы земной коры основывается в первую очередь на данных глубинного сейсмического зондирования, а обеспеченность территории этими данными определяет масштаб всего комплекта карт глубинного строения [11].

Карта мощности осадочного чехла (рис. 6) основана на материалах сейсмических разрезов, построенных по методу отраженных волн в модификации общей глубинной точки (далее — МОВ-ОГТ). 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). По этим признакам и прослеживается подошва осадочного чехла (или поверхность фундамента). Карта мощности консолидированной земной коры отражает разницу между сеточными моделями мощности земной коры и мощностью осадочного чехла.

Изученность территории Волго-Уральской провинции сейсмическими методами достаточно высока и превышает сотни тысяч погонных километров. Толщина земной коры здесь от  $\sim 32$ – $35$  км на периферии до  $50$ – $55$  км и более под центральными районами Волго-Уральского субкратона и под Уральскими горами. Напротив, в наиболее глубоких впадинах (таких как Прикаспийская) толщина коры не превышает  $40$  км. Аномально высокая плотность нижней коры в центре региона указывает на возможное подкоровое внедрение базальтового материала (мафит-ультрамафит), которое могло произойти в позднем протерозое или палеозое, усилив структурную жесткость фундамента. Такая прочная и утолщенная литосфера Восточно-Европейской платформы объясняет относительную тектоническую устойчивость Волго-Уральской провинции после герцинского цикла — начиная с триаса территория оставалась платформенной и не испытывала крупных деформаций. Это способствовало сохранению нефтегазовых залежей. При этом осадочный чехол Волго-Уральской провинции достаточно маломощен (менее  $3$  км). Аномальная мощность осадков фиксируется только в Прикаспийской впадине (до  $24$  км) и Предуральском краевом прогибе ( $10$ – $13$  км).

### **Геологические карты раннего и позднего докембрия масштаба 1 : 2 500 000**

В основе Геологической карты раннего докембрия (рис. 7), которая отражает строение образованной архейско-нижнепротерозойского структурного этажа, лежат данные глубинного сейсмического зондирования в виде средне-мелкомасштабных аналоговых и цифровых карт глубинного строения Российской Федерации, анализ потенциальных полей, а также материалы ядра глубоких скважин, достигающих фундамента. Эта карта также аккумулирует все данные из разномасштабных государственных геологических карт и опубликованные в открытом доступе материалы академических организаций.

Работу над картой позднего докембрия проводит сектор геологии докембрия с 2020 г., и на сегодня фрагмент карты по Волго-Уральскому региону является уникальным сводом данных о строении кристаллического фундамента провинции.

В рамках работ института проведено изотопно-геохронологическое изучение большого объема образцов из ядра глубоких скважин. Эти данные доступны в открытом доступе в информационном ресурсе ФГБУ «Институт Карпинского» — «Геохронологический

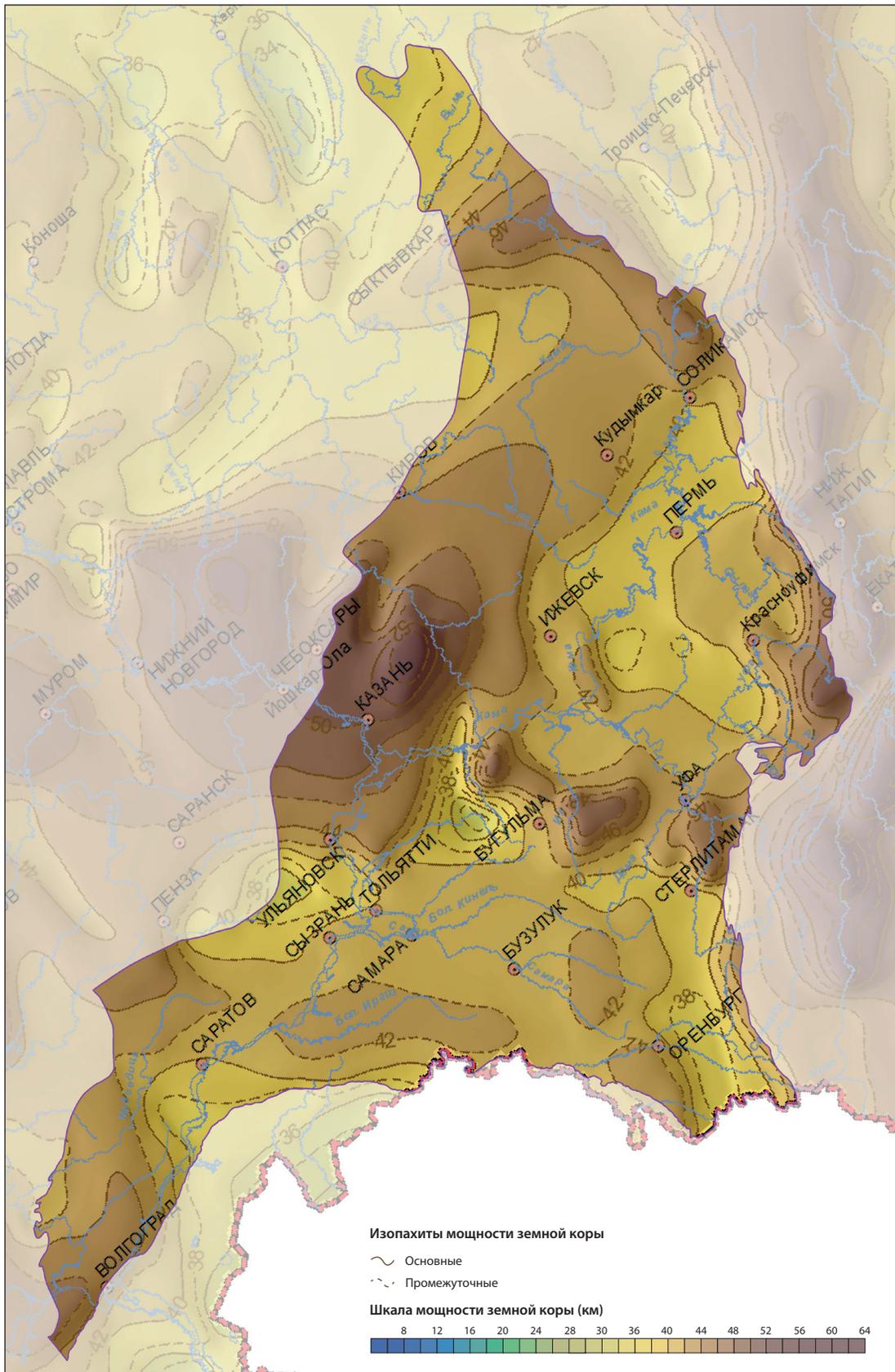


Рис. 5. Волго-Уральская нефтегазоносная провинция на Карте мощности земной коры масштаба 1 : 2 500 000

Источник: по [10]

Fig. 5. Volga-Ural oil and gas province on the Earth's crust thickness map (scale of 1 : 2,500,000)

Source: from [10]

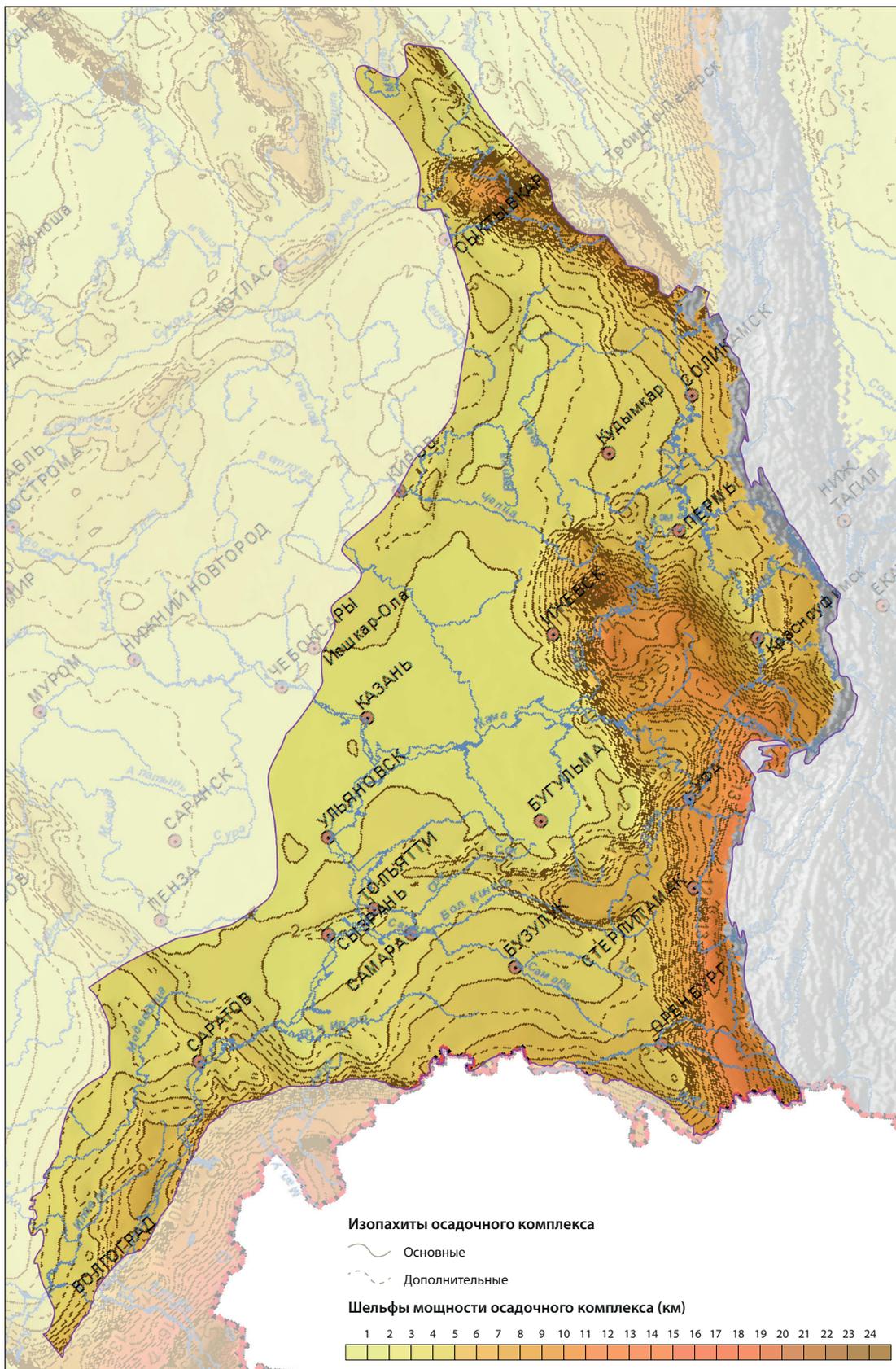
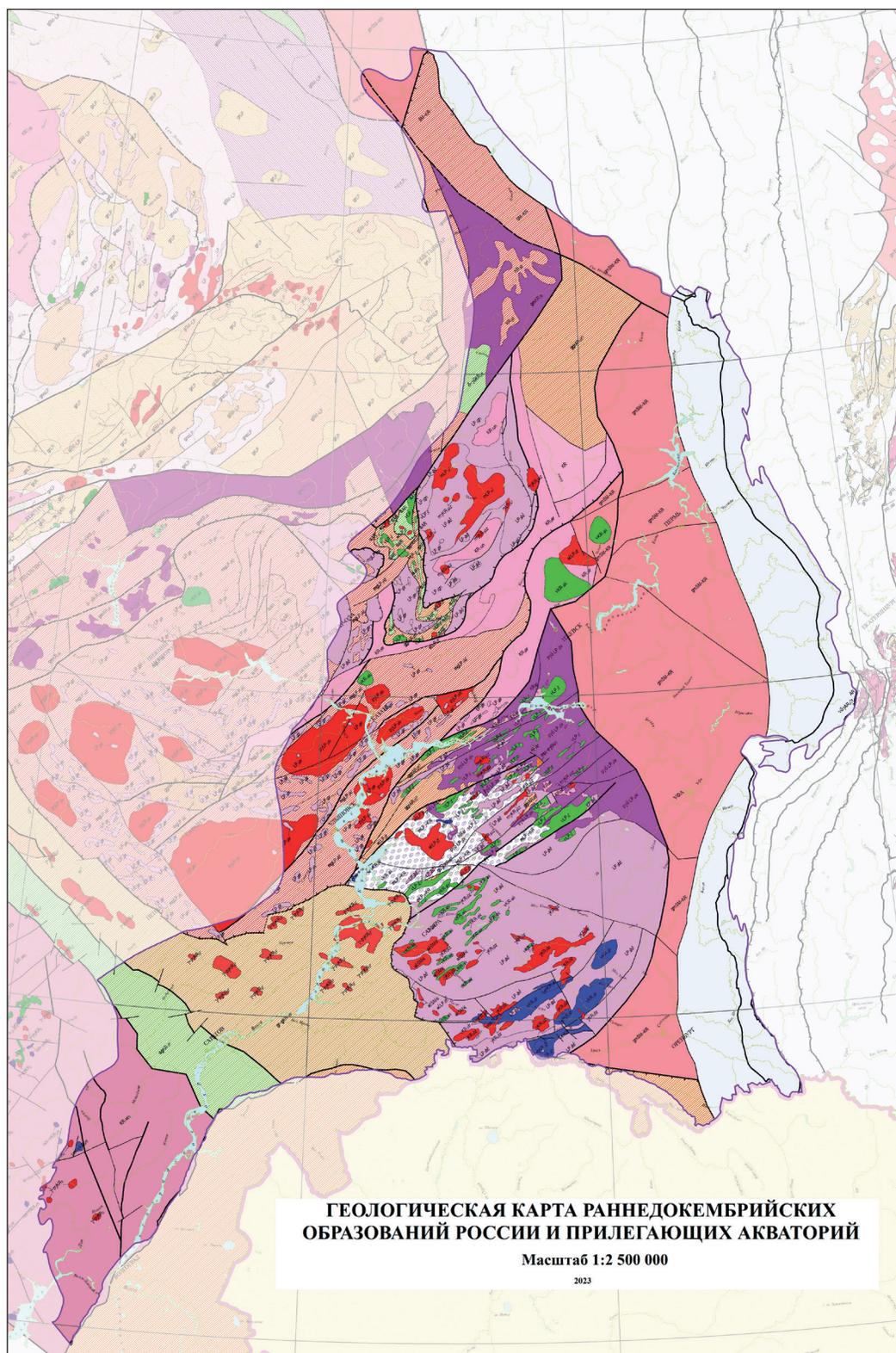


Рис. 6. Волго-Уральская нефтегазоносная провинция на Карте мощности осадочного чехла масштаба 1 : 2 500 000

Источник: по [10]

Fig. 6. Volga-Ural oil and gas province on the sediments thickness map (scale of 1 : 2,500,000)

Source: from [10]



**Рис. 7. Волго-Уральская нефтегазоносная провинция на Геологической карте раннедокембрийских образований России и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000**

Источник: URL: [https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map\\_-base-0=1](https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map_-base-0=1) (дата обращения: 03.06.2025)

**Рис. 7. Volga-Ural oil and gas province on the Early Precambrian geological map of Russia and adjacent water areas (scale of 1 : 2,500,000)**

Source: URL: [https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map\\_-base-0=1](https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map_-base-0=1) (accessed 03.06.2025)

атлас-справочник основных структурно-вещественных комплексов России» [12].

На карте фундамента территории Волго-Уральской провинции выделяется Волго-Уральский геоблок, включающий три блока архейской коры — Средне-Волжский, Токмовский и Верхнекамский, а также Вятский тектонический пояс и часть Волго-Донского тектонического пояса (рис. 8). В пределах Токмовского гранит-зеленокаменного блока установлено большое разнообразие магматических и метаморфических комплексов. Наиболее древними образованиям здесь являются ортогнейсы

свияжского комплекса с возрастом протолита 2,86–2,90 млрд лет. Изотопно-геохронологические датировки получены по более чем 10 глубоким скважинам, в том числе изучен привятский комплекс, вскрытый скважиной на юге листа О-39, и лейкограниты с возрастом 2,63 млрд лет, вскрытые скважиной Владимирская.

В пределах Средневолжского гранулитогнейсового блока наиболее древние образования возрастом 3,48 млрд лет отмечаются в отрадненском метаморфическом комплексе на юге Самарского подблока в керне скважины Первосоветская-41 (лист М-39).

### СХЕМА ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ РАННЕГО ДОКЕМБРИЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Масштаб 1 : 10 000 000

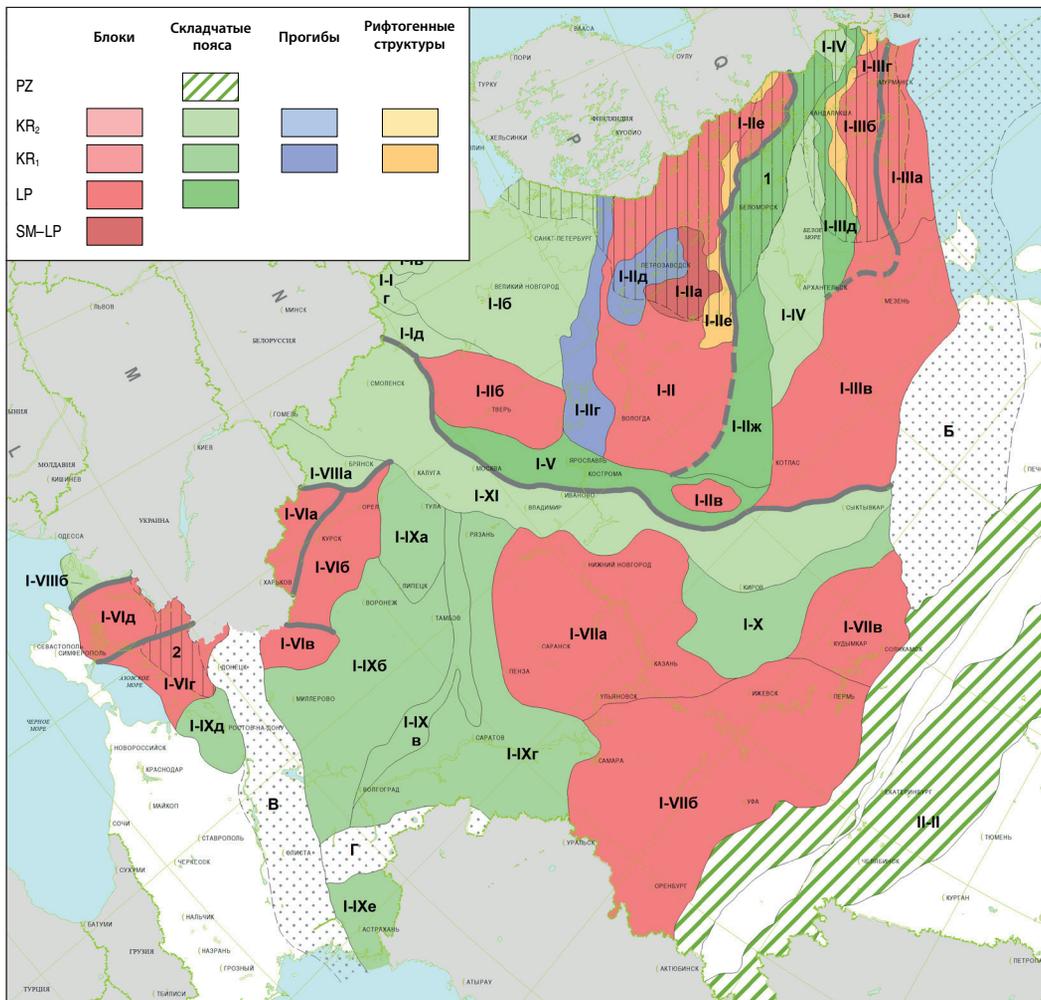


Рис. 8. Схема тектонического районирования раннего докембрия территории Российской Федерации масштаба 1 : 10 000 000 (фрагмент на Европейскую часть Российской Федерации)

Источник: URL: [https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map\\_base-0=1](https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map_base-0=1) (дата обращения: 03.06.2025)

Fig. 8. Early Precambrian tectonic zoning diagram of the Russian Federation territory (scale of 1 : 10,000,000) (fragment of European Russia)

Source: URL: [https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map\\_base-0=1](https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map_base-0=1) (accessed 03.06.2025)

Верхнекамский гранито-гнейсовый блок выделяется на самом северо-востоке Волго-Уральского региона в потенциальных полях и охарактеризован всего пятью скважинами, которые вскрыли разнообразные по составу гранитоиды повышенной щелочности с возрастом от 2,86 до 2,73 млрд лет. Вятский тектонический пояс сложен метаморфизованными вулканогенно-осадочными породами (унийская толща) с возрастом детритовых цирконов около 2080 млн лет, а также разнообразными по составу и возрасту плутоническими комплексами, преимущественно гранитоидами. В осевой части пояса метаморфизм пород отвечает эпидот-амфиболитовой фации, тогда как в краевых частях пояса степень метаморфизма возрастает до амфиболитовой, а местами — гранулитовой фации.

Создание Геологической карты позднего докембрия (рифей-венда) (рис. 9) базировалось на Геологической карте территории России и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000, анализе и обобщении материалов легенд серий листов ГК-1000, Госгеолкарт-1000/3. Для территории Восточно-Европейской платформы и, в частности, Волго-Уральского региона использованы данные старых обзорных карт [13–15], карт аномального магнитного поля и поля силы тяжести, материалы буровых работ и изотопно-геохронологическая информация, содержащаяся в опубликованной литературе. На карте отражены тектонические границы авлакогенов и контуры распространения рифея за их пределами, который, как правило, перекрыт вендскими отложениями. Для вендских образований Волго-Уральского региона показаны границы горизонтов: лапландского (нижний венд), редкинского, котлинского и ровенского (верхний венд).

В соответствии со Схемой районирования верхнего докембрия к Волго-Уральскому региону относятся Волго-Уральская и Воронежская антеклизы, Рязано-Саратовский прогиб, а также небольшая часть Мезенской синеклизы. Структуры осадочного чехла Восточно-Европейской платформы в ряде случаев имеют унаследованный характер относительно структур раннедокембрийского фундамента. Рифейским грабенам (авлакогенам) в структуре осадочного чехла соответствуют прогибы, поднятия — своды. Формирование рифейских грабенов контролировалось неоднородностью строения фундамента, так как рифтогенные структуры закладывались по более ослабленным участкам, которым соответствовали границы крупных блоков фундамента. Состав и корреляция структурно-вещественных осадочных комплексов Волго-Уральского региона отражены в Региональной стратиграфической схеме, работа над которой в настоящее время ведется в институте. Она основана на схемах корреляции листов Госгеолкарты-1000/3 с учетом «Стратиграфической схемы рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области» [16] и новых материалов, включающих результаты бурения параметрических скважин, региональных сейсмических исследований, изотопно-геохронологических и микропалеонтологических данных.

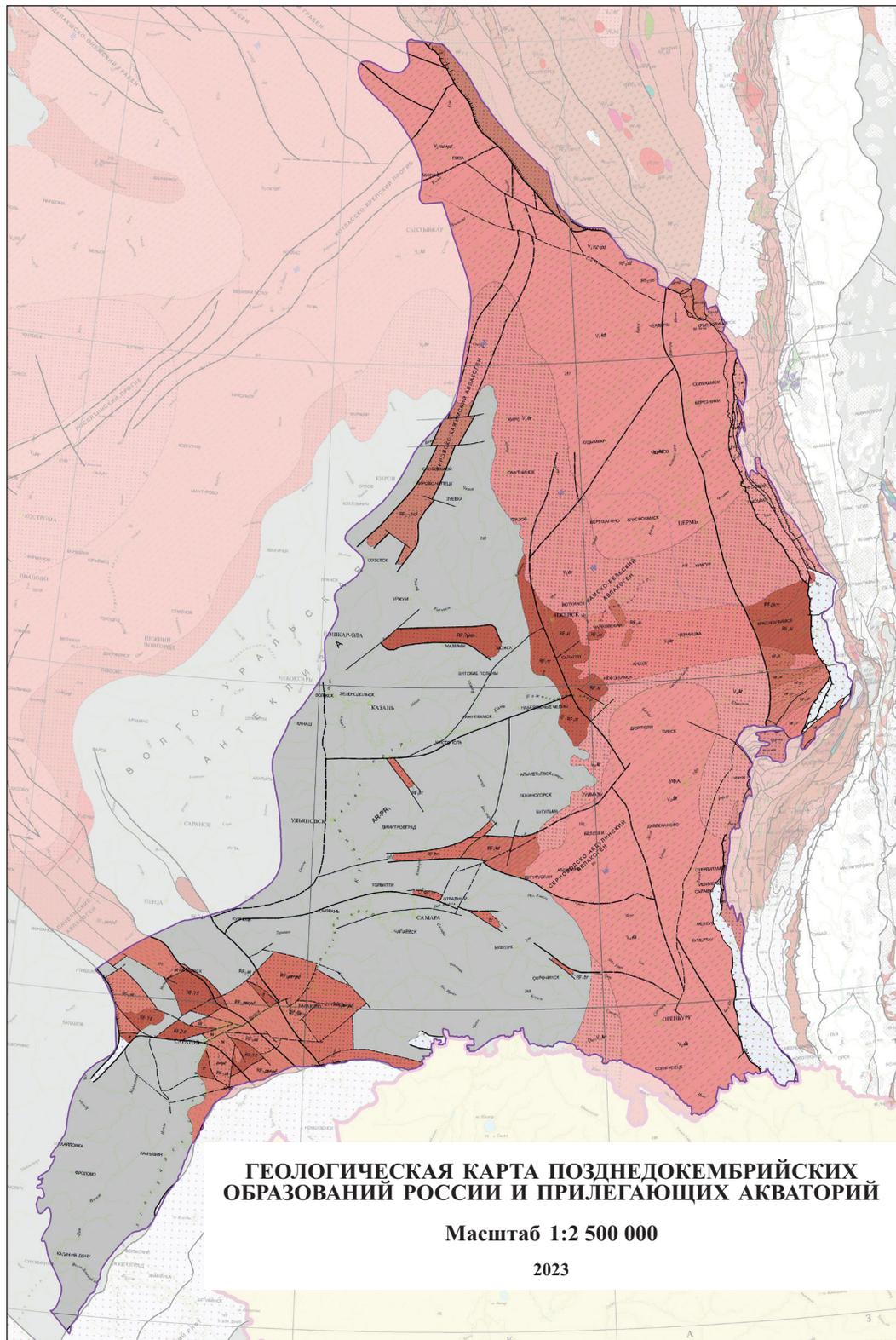
Верхнепротерозойские осадочные комплексы и архей-раннепротерозойские метаморфические

образования кристаллического фундамента вскрыты в Волго-Уральской области скважинами на глубинах от 1,2 до 2,5 км. Отложения рифея с учетом проявленной цикличности осадконакопления и имеющих биостратиграфических и геохронологических данных расчленены на нижне-, средне- и верхне-рифейскую эратемы. Нижний рифей отнесен к кыргинской серии, средний — к серафимовской серии, верхний — к карбонатно-терригенной абдулинской серии. В составе вендской системы выделены кайровская и шкаповская серии, связанные между собой постепенными переходами [16].

Работы по созданию геологических карт раннего и позднего докембрия позволили реконструировать ранние этапы формирования фундамента Волго-Уральского региона, основываясь на палеомагнитных, изотопно-геохронологических, изотопно-геохимических данных, а также на результатах анализа проявлений магматической активности. Предполагается, что первыми 2,1–2,05 млрд лет назад сблизились Волго-Уральский и Сарматский геоблоки [17], что привело к образованию Волго-Донского подвижного пояса. Сближение Волго-Сарматии и Фенноскандии произошло около 2,0 млрд лет назад, когда началась субдукция океанической коры под современную северо-западную окраину Волго-Сарматии. Начиная с 1,7 млрд лет рост земной коры продолжился в западном направлении, где были созданы новые части Фенноскандинавской коры (за пределами российской территории). В это время кратон Балтика стал частью палео-мезопротерозойского суперконтинента Нуна (Колумбия).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приведен краткий обзор геологического строения территории Волго-Уральской нефтегазоносной провинции и истории ее геологического развития. Все материалы были получены в результате многолетних работ института в рамках регионального геологического изучения недр России и прилегающих акваторий по созданию геологических карт масштабов 1 : 200 000 и 1 : 1 000 000, Геологической карты России масштаба 1 : 2 500 000, карт глубинного строения и геофизических аномалий, карт раннего и позднего докембрия 1 : 2 500 000. Значительный объем материалов по Волго-Уральскому региону, в том числе данные по тектонической карте, карте четвертичных образований, прогнозно-минерагенической карте на твердые полезные ископаемые, карте закономерностей размещения на нефть и газ, остался неосвещенным. Также не были затронуты геологические выводы, следующие из составления на территорию Волго-Уральской провинции стратиграфических схем корреляции легенд серий листов Госгеолкарты-1000 и минерагенических блоков на нефтегазоносные комплексы [18], и многие другие геологические материалы. Главным результатом проведенных за многие годы исследований стало выявление сочетания благоприятных стратиграфических, литолого-фациальных и тектонических факторов, обусловивших формирование



**Рис. 9. Волго-Уральская нефтегазоносная провинция на Геологической карте позднедокембрийских образований России и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000**

Источник: URL: [https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map\\_-base-0=1](https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map_-base-0=1) (дата обращения: 03.06.2025)

**Рис. 9. Volga-Ural oil and gas province on the Late Precambrian geological map of Russia and adjacent water areas (scale of 1 : 2,500,000)**

Source: URL: [https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map\\_-base-0=1](https://wega.karpinskyinstitute.ru/site/cdnr?g=62.799467850253144,94.78712499999327,4&map_-base-0=1) (accessed 03.06.2025)

богатых нефтегазовых ресурсов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Хотя ее ресурсы значительно разработаны, дальнейшие работы по региональному геологическому изучению недр, включая мониторинг в рамках Госгеолкарты-1000, детализацию и актуализацию геологических, геохимических, стратиграфических и других материалов, ведут к обоснованию новых потенциально пригодных геологических объектов (нетрадиционные коллекторы, глубокие горизонты), что позволяет сохранять региону важную роль в нефтегазовой отрасли России на долгосрочную перспективу.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Цифровой двойник недр России. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/gisatlas/> (дата обращения: 03.06.2025).
2. 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).
3. 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).
4. 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.
5. Геологическая карта России и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000 / ред.-сост. Ю. Б. Богданов [и др.] ; гл. ред. О. В. Петров. СПб. : ВСЕГЕИ, 2016. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/atlas/geol/> (дата обращения: 03.06.2025).
6. Проблемы стратиграфии палеозоя Волго-Уральской нефтеносной области : тр. ВНИГНИ / под ред. М. Ф. Филипповой. Вып. XIX. Л. : Гостоптехиздат, 1959. 167 с.
7. Нефтяные и газовые месторождения СССР : справочник : в 2 кн. / под ред. С. П. Максимова. Кн. 1 : Европейская часть СССР. М. : Недра, 1987. 358 с.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-40 — Пермь. Объяснительная записка / В. П. Водолазская [и др.]. СПб. : Картогр. ф-ка ВСЕГЕИ, 2015. 497 с.
9. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Центрально-Европейская. Лист N-39 — Казань–Самара. Объяснительная записка / О. И. Застрожнова [и др.] ; науч. ред. А. В. Жданов, В. К. Шкатова. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2021. 467 с.
10. 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).
11. 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.
12. Геохронологический атлас-справочник основных структурно-вещественных комплексов России. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/geochron-atlas/> (дата обращения: 03.06.2025).

13. Геологическая карта нижней поверхности осадочного чехла Русской платформы масштаба 1 : 2 500 000 / И. И. Быкова [и др.] ; ред. Н. С. Иголкина. Л. : ВСЕГЕИ, 1970.
14. Богданова С. В. Земная кора Русской плиты в раннем докембрии (на примере Волго-Уральского сегмента) : тр. ГИН АН СССР. Вып. 408. М. : Наука, 1986. 223 с.
15. Геология и полезные ископаемые России : в 6 т. Т. 1 : Запад России и Урал. Кн. 1 : Запад России / под ред. Б. В. Петрова, В. П. Кирикова. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. 528 с.
16. Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области. Объяснительная записка / сост. Е. М. Аксенов, В. И. Козлов ; науч. ред. М. А. Семихатов, С. М. Шик. Уфа : Ин-т геологии УНЦ РАН, 2000. 81 с.
17. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia / S. V. Bogdanova [et al.] // *Precambrian Research*. 2008. Vol. 160, nos. 1–2. P. 23–45. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.024>.
18. Создание схем корреляции нефтегазоносных комплексов нефтегазоносных провинций Российской Федерации в рамках работ по Государственному геологическому картографированию / С. В. Видик [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2023. № 93. С. 76–87.

## REFERENCES

1. Digital Twin of Russian Subsoil. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/gisatlas/> (accessed 03.06.2025). (In Russ.).
2. 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/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_23-35](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_23-35). (In Russ.).
3. 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). (In Russ.).
4. State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 1,000,000: Creation history, work results and tasks / O. V. Petrov [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Publ. House; 2007. 75 p. (In Russ.).
5. Geological Map of Russia and adjacent water areas, scale of 1 : 2,500,000 / Comp. Ed. Yu. B. Bogdanov [et al.]; Ed.-in-Chief O. V. Petrov. St. Petersburg: VSEGEI; 2016. URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/atlas/geol/> (accessed 03.06.2025). (In Russ.).
6. Problems of the Paleozoic stratigraphy of the Volga-Ural oil region: VNIGNI Proc. / Ed. M. F. Filippova. Vol. XIX. Leningrad: Gostoptekhizdat; 1959. 167 p. (In Russ.).
7. Oil and gas fields of the USSR: Ref. bk.: in 2 bk. / Ed. S. P. Maksimov. Bk. 1: European part of the USSR. Moscow: Nedra; 1987. 358 p. (In Russ.).
8. State Geological Map of the Russian Federation. Scale of 1 : 1,000,000 (third generation). Ural series. Sheet O-40 — Perm. Explanatory note / V. P. Vodolazskaya [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory; 2015. 497 p. (In Russ.).
9. State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 1,000,000. Third generation. Central Europe series. Sheet N-39 — Kazan–Samara. Explanatory note / O. I. Zastrozhnova [et al.]; Sci. Ed. A. V. Zhdanov, V. K. Shkatova. St. Petersburg: VSEGEI Publ. House; 2021. 467 p. (In Russ.).
10. 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). (In Russ.).
11. State network of geotranssects and superdeep wells — the basis for 3D deep mapping of the Russian Federation and its continental shelf / S. N. Kashubin [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2016; (67): 43–48. (In Russ.).
12. Geochronological atlas of the main structural and material complexes of Russia. URL: <https://karpinskyin->

stitute.ru/ru/info/geochron-atlas/ (accessed 03.06.2025). (In Russ.).

13. Geological map of the lower sedimentary cover of the Russian Platform at a scale of 1 : 2,500,000 / I. I. Bykova [et al.]; Ed. N. S. Igoikina. Leningrad: VSEGEI; 1970. (In Russ.).

14. Bogdanova S. V. The Russian Platform crust in Early Precambrian (Based on data on the Volga-Ural segment): *Trans. of Acad. of Sci. of the USSR*. Vol. 408. Moscow: Nauka; 1986. 223 p. (In Russ.).

15. Geology and mineral resources of Russia: in 6 vol. Vol. 1: West of Russia and Ural. Bk. 1: West of Russia / Eds. B. V. Petrov, V. P. Kirikov. St. Petersburg: VSEGEI Publ. House; 2006. 528 p. (In Russ.).

16. Stratigraphic scheme of the Riphean and Vendian deposits of the Volga-Ural region. Explanatory note / Comp. E. M. Aksenov, V. I. Kozlov; Sci. Ed. M. A. Semikhatov, S. M. Shik. Ufa: IG URC RAS; 2000. 81 p. (In Russ.).

17. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia / S. V. Bogdanova [et al.]. *Precambrian Research*. 2008; 160 (1–2): 23–45. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.024>. (In Russ.).

18. Compiling correlation patterns of oil and gas complexes in oil and gas provinces of the Russian Federation as part of state geological mapping / S. V. Vidik [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2023; (93): 76–87. [https://doi.org/10/52349/0869-7892\\_2023\\_93\\_76-87](https://doi.org/10/52349/0869-7892_2023_93_76-87). (In Russ.).

---

## 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

## 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

## 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

maxim\_tkachenko@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

maxim\_tkachenko@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 05.05.2025

Одобрена после рецензирования 16.06.2025

Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 05.05.2025

Approved after reviewing 16.06.2025

Accepted for publication 20.06.2025

Научная статья

УДК 55\*628.62/.64"(470.23+474.2)  
doi:10.52349/0869-7892\_2025\_102\_22-43

**Ключевые слова:** поздний неоплейстоцен — голоцен, Балтийское море, Куземкинская палеоформа, флювиогляциальная дельта, оптически стимулированная люминесценция, геoarхеология, георадиолокация

**Благодарности:** геoarхеологические исследования 2012–2017 гг. были выполнены при поддержке проектов РФФИ 12-05-01121, 15-05-08169, научно-исследовательского проекта Научного совета Эстонии "Estonia in Circum-Baltic space: archaeology of economic, social, and cultural processes" (IUT20-7) и МАЭ РАН "Stone Age — Early Metal Epoch sites refugium in the Narva-Luga Klint Bay". Геологические и геофизические исследования 2018–2022 гг. выполнены в рамках проекта РНФ № 17-77-20041.

**Для цитирования:** Геологическое строение и история геологического развития Нарвско-Лужской предглинтовой низменности в позднем неоплейстоцене и голоцене / А. Ю. Сергеев [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 22–43. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102-22-43](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102-22-43)

Original article

UDC 55\*628.62/.64"(470.23+474.2)  
doi:10.52349/0869-7892\_2025\_102\_22-43

**Keywords:** Late Pleistocene — Holocene, Baltic Sea, Kuzemkino palaeospit, fluvio-glacial delta, optically stimulated luminescence dating, geoarchaeology, ground-penetrating radar



© А. Ю. Сергеев, Д. В. Рябчук, О. А. Ковалева, Л. М. Буданов, В. А. Жамойда, И. А. Невин, Д. В. Герасимов, 2025

## Геологическое строение и история геологического развития Нарвско-Лужской предглинтовой низменности в позднем неоплейстоцене и голоцене

А. Ю. Сергеев<sup>1</sup>✉, Д. В. Рябчук<sup>1</sup>,  
О. А. Ковалева<sup>1</sup>, Л. М. Буданов<sup>1</sup>, В. А. Жамойда<sup>1</sup>,  
И. А. Невин<sup>1</sup>, Д. В. Герасимов<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** В статье представлены результаты геолого-геоморфологических и геoarхеологических исследований, выполненных в 2011–2022 гг. в Нарвско-Лужской предглинтовой низменности (побережье Нарвского залива, Балтийское море). Детальные геолого-геофизические исследования с применением георадарного профилирования, неглубокого бурения, изучения естественных и техногенных обнажений, гранулометрического анализа и датирования методом оптически стимулированной люминесценции позволили выявить ранее неизвестное аккумулятивное образование — Куземкинскую палеоформу. Анализ полученных полевых материалов и лабораторных анализов совместно с цифровой моделью рельефа показал, что данная аккумулятивная форма представляет собой останец флювиогляциальной дельты, сформировавшейся на этапе отступления ледника от стадии Пандивере. В голоцене переработка отложений флювиогляциальной дельты водами Анцилового озера и Литоринового моря привела к формированию крупнейшей в регионе прибрежной барьерной формы — Кудрукюльской палеокосы — и образованию крупной лагунной системы. В период после максимума литориновой трансгрессии Куземкинская палеоформа стала активно заселяться древним человеком, о чем свидетельствуют обнаруженные здесь долговременные стоянки эпохи раннего неолита.

## Geological structure and geological development history of the Narva-Luga Klint Bay in the Late Pleistocene and Holocene

A. Yu. Sergeev<sup>1</sup>✉, D. V. Ryabchuk<sup>1</sup>,  
O. A. Kovaleva<sup>1</sup>, L. M. Budanov<sup>1</sup>, V. A. Zhamoida<sup>1</sup>,  
I. A. Neevin<sup>1</sup>, D. V. Gerasimov<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Peter the Great Museum of Anthropology and Ethnography (the Kunstkamera), Saint Petersburg, Russia

**Acknowledgments:** the geoarchaeological studies in 2012–2017 were supported by the Russian Foundation for Basic Research, project nos. 12-05-01121, 15-05-08169; the Estonian Research Council, the research project “Estonia in Circum-Baltic space: Archaeology of economic, social, and cultural processes” (IUT20-7); Peter the Great Museum of Anthropology and Ethnography (the Kunstkamera), the project “Stone Age — Early Metal Epoch sites refugium in the Narva-Luga Klint Bay”. The 2018–2022 geological and geophysical studies were aligned with the Russian Science Foundation project no. 17-77-20041.

**For citation:** Geological structure and geological development history of the Narva-Luga Klint Bay in the Late Pleistocene and Holocene / A. Yu. Sergeev [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (2): 22–43. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102-22-43](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102-22-43)

**Abstract.** The paper presents results of geological, geomorphological, and geoarchaeological studies in the Narva-Luga Klint Bay (the Narva Bay coast, the Baltic Sea) in 2011–2022. Detailed geological and geophysical studies using ground-penetrating radar profiling, hand drilling, outcrop exploration, grain size analysis, and optically stimulated luminescence identified the previously unknown accumulative landform — Kuzemkino palaeospit. Analysis of the obtained field and laboratory materials and the digital relief model revealed that the identified accumulative form is a remnant of a fluvioglacial delta formed during the Pandivere glacier retreat. In the Holocene, the fluvioglacial delta sediments reworking by the waters of the Ancylus Lake and Littorina Sea led to form the largest coastal barrier form in the region — the Kudruküla palaeospit as well as a large lagoon system. In the period after the Littorina transgression maximum, ancient man began to actively populate the accumulative landform Kuzemkino palaeospit, as evidenced by the discovery of long-term Neolithic sites there.

## ВВЕДЕНИЕ

Благодаря многочисленным и разнообразным следам, которые оставили в морфологическом облике и строении верхней части геологического разреза процессы поздне- и послеледникового развития территории, а также исключительному разнообразию реликтовых аккумулятивных форм, Нарвско-Лужская предглинтовая низменность уже более столетия привлекает пристальное внимание исследователей.

Нарвско-Лужская предглинтовая низменность представляет собой наиболее обширную (площадь около 360 км<sup>2</sup>) морскую голоценовую аккумулятивную равнину на побережьях восточной части Финского залива [1]. Особенности рельефа дочетвертичных образований, осложненного возвышенностями ледникового происхождения, создали предпосылки для развития сложного комплекса лито-морфодинамических процессов в береговых зонах послеледниковых водоемов, существовавших на последнем этапе геологического развития территории. Рельеф ледниковых и флювиогляциальных отложений был в значительной мере переработан и изменен под воздействием экзогенных геологических процессов — прежде всего, береговой абразии, аккумуляции и боковой (речной) эрозии — в результате многократного изменения уровня поздне-послеледниковых водоемов, что привело к формированию широкого спектра послеледниковых аккумулятивных береговых форм рельефа (рис. 1).

История геолого-геоморфологических и археологических исследований района, начиная с конца XIX — начала XX вв. (Г. П. Гельмерсен, 1864<sup>1</sup>; W. Ramsey, 1926<sup>2</sup>; К. К. Марков 1927<sup>3</sup>, 1933<sup>4</sup> и др.), подробно изложена в работах [2–4]. А. Таммеканном [5] впервые был применен термин «Нарвско-Лужский предглинтовый палеозалив» или «Нарвско-Лужская предглинтовая низменность», под которым понимается прибрежная аккумулятивная террасированная равнина Нарвско-Лужского междуречья, ограниченная с юга и востока уступом глинта. Основная часть Нарвско-Лужской предглинтовой низменности расположена на территории северо-запада России, а южная относится к северо-востоку Эстонии.

Следует отметить, что наиболее детально изучена южная часть Нарвско-Лужской предглинтовой низменности, расположенная в нижнем течении р. Нарва. Седиментационные последовательности в районе палеолагуны вблизи г. Нарва были исследованы еще К. Орвику и П. Томсоном [2]. В 1960–1990-х гг. эстонские исследователи провели стратиграфическое описание обнажений и разрезов, палинологический, диатомовый, термолюминесцентный анализы и радиоуглеродное датирование образцов органогенных отложений [6–8]. А. Лепландом с соавторами [2] выполнено комплексное изучение отложений двух крупных аккумулятивных форм в нижнем течении р. Нарва — систем береговых валов Синимяэ и Нарва-Йыэсуу, а также расположенной между ними низменности Леековасоо. Авторами был обобщен обширный материал предыдущих исследований, а также выполнен большой объем собственных полевых и лабораторных работ (описание разрезов, гранулометрический анализ, радиоуглеродное датирование, биостратиграфические исследования, изучение магнитных свойств минералов), позволивший разработать концепцию палеогеографического развития района, формирования аккумулятивных форм и лагунной системы. Важно отметить, что центральная и северная (русская) части Нарвско-Лужской предглинтовой низменности до недавнего времени были изучены менее детально.

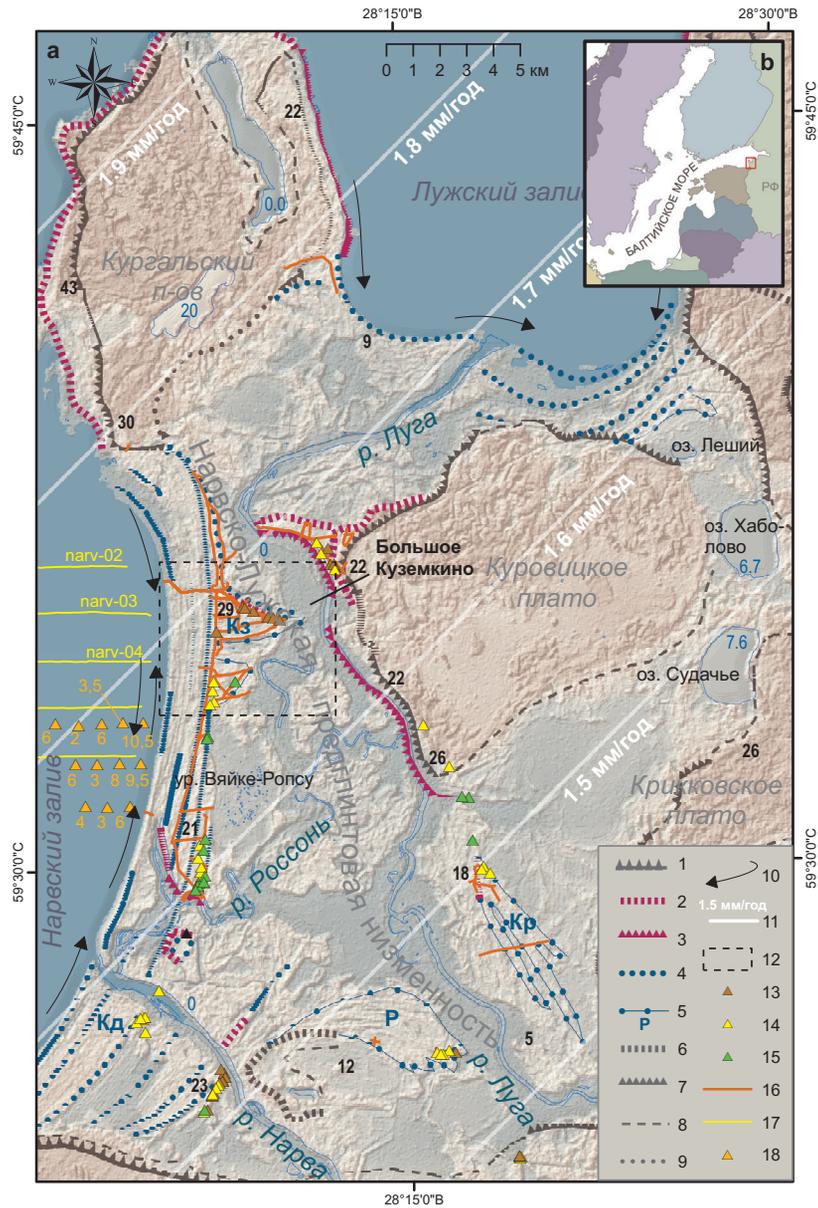
К наиболее систематическим региональным исследованиям относятся работы К. К. Маркова и результаты геологической съемки. Автором [9] описаны опорные разрезы четвертичных отложений,

<sup>1</sup>Гельмерсен Г. П. О физических и геологических условиях Петербурга. [СПб.] : тип. Имп. Акад. наук, 1864. 11 с.

<sup>2</sup>Ramsey W. Nivaforändringar och stenalders-bosättning i det baltiska området // Fennia — International Journal of Geography. 1926. Vol. 48. P. 1–67.

<sup>3</sup>Марков К. К. Краткий геологический и геоморфологический очерк северной части Кингисепского уезда (По предварительным данным исследований 1925 и 1926 г.). // Известия Центрального гидрометеорологического бюро. Л., 1927. С. 91–118.

<sup>4</sup>Марков К. К., Порецкий В. С. Послеледниковая история окрестностей Ленинграда // Природа. 1933. № 5–6. С. 99–103.



**Рис. 1. Схема расположения палеоформ рельефа в Нарвско-Лужской предглинтовой низменности**

**а** — береговые голоценовые палеоформы и приуроченные к ним археологические стоянки района Нарвско-Лужской предглинтовой низменности: 1 — Балтийско-Ладожский клинт; установленные по анализу рельефа палеоформы: 2 — абразионный склон; 3 — абразионный уступ; 4 — береговые валы; 5 — веерные косы и пересыпи; Р — Рийгикюльская веерная палеокоса, Кр — Куровицкая веерная палеокоса, Кд — Кудрукюльская палеокоса (пересыпь), Кз — Куземкинская палеоформа. Береговые формы: 6 — абразионный склон; 7 — абразионный уступ; 8 — положение береговой линии; 9 — береговой вал; 10 — направление миграции современных песчаных наносов; 11 — изобазы современного гляциоизостатического поднятия; 12 — участок детальных исследований Куземкинской палеоформы. Археологические памятники датируемые: 13 — не древнее 7,5 тыс. кал. л. н.; 14 — не древнее 6,0 тыс. кал. л. н.; 15 — не древнее 4,8 тыс. кал. л. н.; 16 — профили георадиолокации; 17 — профили непрерывного сейсмоакустического профилирования; 18 — положение архивных буровых скважин и мощности песчаного слоя; **б** — расположение района работ

Источник: 6–9 — по [9], 11 — по [23]

**Fig. 1. Palaeorelief distribution map within the Narva-Luga Klint Bay**

**а** — the Holocene coastal palaeoforms and associated archaeological sites of the Narva-Luga Klint Bay: 1 — Baltic-Ladoga Klint; palaeoforms established after the relief analysis: 2 — erosion slope; 3 — erosion scarp; 4 — longshore bars; 5 — spits and sand bars; Р — Riigiküla palaeobar, Кр — Kurovitsy palaeobar, Кд — Kudruküla palaeobar (spit), Кз — Kuzemkino palaeospit. Coastal forms: 6 — erosion slope; 7 — erosion scarp; 8 — coastline position; 9 — longshore bar; 10 — direction of modern sand sediments drifts; 11 — modern glacioisostatic uplift isobases; 12 — detailed exploration area of the Kuzemkino palaeospit. Archaeological sites dated: 13 — not older than 7.5 cal ka BP; 14 — not older than 6.0 cal ka BP; 15 — not older than 4.8 cal ka BP; 16 — ground-penetrating radar profiles; 17 — seismic and acoustic profiles; 18 — position of archival boreholes and sand layer thickness; **б** — exploration area location

Source: 6–9 — from [9], 11 — from [23]

выполнены палинологические и микропалеонтологические анализы, разработана варвохронологическая шкала для ледниково-озерных отложений. На картах, составленных К. К. Марковым, прослежено распространение отложений поздне-последлениковских бассейнов, показаны песчаные аккумулятивные формы, сформированные на побережье этих водоемов. В 1958–1962 гг. Ленинградская геологическая экспедиция Северо-Западного геологического управления провела в пределах описываемой территории геологическую съемку масштаба 1 : 200 000 [10], по результатам которой были составлены карты дочетвертичных образований и четвертичных отложений, разрезы к ним и текст объяснительной записки. В 1994 г. Петербургской комплексной геологической экспедицией под руководством А. С. Яновского были завершены работы по гидрогеологической съемке и геологическому доизучению южной части Ленинградской области в масштабе 1 : 200 000 с составлением комплекта геологических карт и объяснительной записки к ним. В 1985–1990 гг. Отделом региональной геоэкологии и морской геологии ВСЕГЕИ выполнялась государственная геологическая съемка дна акватории Финского залива, в ходе которой в Нарвском заливе было обнаружено подводное месторождение песка, предположительно (по стратиграфическому положению) связанное с реликтивными аккумулятивными прибрежными формами [1]. Следует отметить, что в задачи геологической съемки детальные палеогеографические реконструкции не входили.

В 1960–1980-х гг. здесь были выявлены и частично изучены первые памятники каменного века.

В 2004 г. были опубликованы результаты исследований донных отложений озер северо-восточной части Нарвско-Лужской предглинтовой низменности (Бабинское, Глубокое, Хабаловское и Леший), выполненных в рамках крупного международного панбалтийского проекта, направленного на реконструкцию колебаний уровня моря на последнем этапе геологического развития [3]. Скважины, пробуренные в 1998–2003 гг., были исследованы на содержание органического вещества, магнитных минералов, макрорастительных остатков, а также выполнен палинологический и диатомовый анализы. Радиоуглеродным методом датированы 32 образца. Авторы исследования пришли к выводу, что изученные озера затоплялись водами Литоринового моря в период между 8,0 и 5,7 тыс. кал. л. н., причем выделялись два пика трансгрессии — 7,8–7,1 тыс. кал. л. н. (с максимальным уровнем +10 абс. м) и 6,9–6,0 тыс. кал. л. н. [3]. Изучение современных береговых процессов Нарвского залива было начато в 1960-х гг. В 1969–1975 гг. здесь располагался участок стационарных наблюдений Ленинградского государственного университета [11]. Литодинамические исследования выполнялись эстонскими специалистами при подготовке раздела о берегах для монографии «Геология Финского залива» [12].

Новые возможности для существенного уточнения концепции палеогеографического развития как исследуемого района, так и побережий Финского

залива в целом открылись с началом комплексных российско-эстонских археологических и палеогеографических исследований, направленных на изучение палеогеографического развития района на последнем этапе геологического развития, а также культурных процессов, происходивших в условиях динамично меняющихся природных обстановок последлениковья [13–16]. А. Розентау с соавторами [4] были выполнены современные палеореконострукции развития микрорегиона в голоцене (в период между 11,7 тыс. кал. л. н. (перед спуском Балтийского ледникового озера) и завершением литориновой стадии развития Балтики (4,5 тыс. кал. л. н.)), основанные на анализе геологических и археологических данных и ГИС-моделировании палеореконострукции расположения береговых линий.

Задачей настоящей статьи является рассмотрение строения и генезиса наиболее древних последлениковских аккумулятивных форм Нарвско-Лужской предглинтовой низменности, выявленных в ходе исследований последних лет специалистами Института Карпинского в рамках научных проектов Российского фонда фундаментальных исследований и Российского научного фонда.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Анализ рельефа.** Для выявления площадного распределения реликтовых береговых форм использовались материалы дистанционного зондирования разных лет из открытых геоинформационных ресурсов: Геопортала Роскосмоса, Яндекс Карт, Google Earth. В основу данных о рельефе Нарвско-Лужской низменности легли материалы глобальных цифровых моделей рельефа SRTM, ASTER и цифровые модели, полученные путем оцифровки топографических карт местности масштаба 1 : 50 000. Для геоморфологической схемы Куземкинской палеоформы использовались изолинии рельефа, оцифрованные с топографической карты масштаба 1 : 25 000, а для прослеживания реликтовых береговых форм — глобальные альтиметрические спутниковые данные. Положение разрезов и обнажений и реликтовых береговых форм уточнялось по данным нивелирных измерений.

Построение карт-схем и анализ массива геолого-геофизических данных производились в ГИС-пакете ArcGIS. Используемые инструменты пространственного анализа дополнительного модуля SpatialAnalyst ГИС-пакета позволили выявить особенности морфологии современного рельефа, значительно повысить точность интерпретации материалов дистанционного зондирования и обосновать выбор мест для полевых обследований.

**Георадиолокационное профилирование.** В 2013–2019 гг. в рамках научных исследований по грантам РФФИ и РНФ был выполнен существенный объем георадиолокационного профилирования (далее — ГРП) общей протяженностью более 75 км (рис. 1). Профилирование проводилось при помощи георадара марки SIR System-2000 производства фирмы GSSI (США). Приемно-передающей антенной служила

дипольная антенна 5106 с центральной частотой излучения 200 МГц, а также использовались антенны 70 и 400 МГц. Регистрация данных осуществлялась открытым каналом без усиления, количество выборок на трассу составило 4096, разрядность — 32 бита, длительность записи — 200–1000 нс. При сравнительно однородном песчаном геологическом разрезе глубина зондирования антенны 5106 достигала 10–15 м и могла обеспечивать разрешающую способность ~35 см. Геодезическая привязка профилей проводилась системой спутниковой навигации GPSMAP 65CS (Garmin). Погрешность местоопределения ±5 м. Проекция — WGS-84. Профилирование выполнялось вдоль лесных грунтовых дорог. Твердое дорожное покрытие на проездах отсутствовало, не препятствуя проникновению сигнала излучающей антенны. Георадарное профилирование производилось преимущественно на дорогах с выровненным рельефом, где колебания высот по данным топографических карт не превышали 2 м. Абсолютные высоты поверхности территории составляли от 9 до 12 м. Работы на опорных профилях сопровождались геодезической съемкой с использованием нивелира, тахеометра и квадрокоптера, что обеспечило получение цифровой трехмерной модели рельефа.

Обработка полевых радарограмм осуществлялась в программном пакете обработки и интерпретации RADAN. К данным применялся стандартный граф обработки, включающий в себя набор вертикальных и горизонтальных фильтров, удаление постоянной составляющей (так называемого «звона антенны») и регулировку усиления. Учет данных о рельефе и расчет скоростей распространения электромагнитных волн в исследуемых средах для пересчета глубин проводился по результатам анализа гиперболических осей синфазности, возникающих на диафрагмирующих объектах, с использованием программного пакета RadexPro. Обработанные радарограммы были сохранены в формате SEG-Y. Геофизическая интерпретация разрезов осуществлялась стандартными средствами Kingdom путем трассировки отражающих горизонтов, зон изменения инфраструктуры записи, выделения локальных дифрагирующих и аномальных объектов.

**Сейсмоакустическое профилирование.** Материалы непрерывного сейсмоакустического профилирования (далее — НСАП) получены в ходе реализации гранта РФФИ. Работы проводились с использованием электродинамического источника — бумера (1,5–3,0 кГц). Регистрация отраженных волн производилась одноканальной сейсмостанцией с буксируемой приповерхностной сейсмодоской. Обработка цифровых записей в формате SEG-Y выполнялась с применением стандартного графа обработки<sup>1</sup> в программном пакете RadexPro (ООО «Деко-геофизика СК», Россия), пересчет временных разрезов в глубинные производился с единой скоростью распространения продольных волн для всего разреза — 1480 м/с, соответствующей скорости в водной толще. Всего выполнено 25 пог. км НСАП по сети параллельных профилей поперек подводного берегового склона (рис. 1).

Интерпретация разрезов НСАП подтверждена архивными скважинами бурения, выполненного в 1984–1985 гг. в рамках государственной геологической съемки шельфа.

**Геологическое описание и опробование отложений.** Для интерпретации данных георадиолокационного профилирования было выполнено детальное описание и опробование техногенных разрезов (карьер по добыче песка), небольших шурфов в склоне террасы, а также отложений, вскрытых неглубокими (до 2 м) буровыми скважинами. Для интерпретации георадарных данных выполнялось неглубокое бурение с использованием бензобура STIHL BT 121 совместно со шнековым почвенным буром и двумя удлинителями (до 2–2,5 м). Описание разрезов сопровождалось послойным отбором образцов на гранулометрический анализ. Отобрано и проанализировано 253 образца. В ходе исследований по разрезу 18А2 было последовательно отобрано 9 образцов песчаных отложений для датирования методом оптико-стимулированной люминесценции. Также привлекались данные о геологическом строении четвертичных образований, развитых в пределах листа О-35-V (Кингисепп) геологической карты масштаба 1 : 200 000 [10], и данные по скважинам, приведенные в монографии под редакцией Н. И. Апухтина и И. И. Краснова [17]. Изучалась мощность опробованных прослоев, их корреляция с данными георадарного профилирования, описание текстур отложений и проводилась динамо-генетическая интерпретация данных гранулометрического состава.

**Лабораторные исследования.** Гранулометрический анализ выполнен ситовым методом с применением анализаторной просеивающей машины AS 200 с управлением "g" фирмы Retsch на стандартном наборе плетеных сит с разделением осадка на 19 фракций. Для интерпретации данных гранулометрического анализа рассчитаны гранулометрические коэффициенты (средний размер зерен (M<sub>a</sub>), сортированность песка (S<sub>o</sub>), асимметрия (A), эксцесс (E)), построены кривые гранулометрических распределений и генетические диаграммы [18–20]. Определена окатанность грубообломочных фракций по балльной шкале Л. Б. Рухина<sup>2</sup>.

Датирование методом оптически стимулированной люминесценции (далее — ОСЛ) выполнено в лаборатории ФГБУ «Институт Карпинского» (лабораторный индекс RGI) для 9 образцов песка. Измерение палеодозы для всех образцов производилось по кварцу. Возраст по ОСЛ-датированию наиболее приближен к календарным годам с учетом погрешности. За основу расчета мощности дозы и возраста проб был взят калькулятор DRAC [21].

<sup>1</sup>Шалаева Н. В., Старовойтов А. В. Основы сейсмоакустики на мелководных акваториях : учеб. пособие. М. : Изд-во Москов. ун-та, 2010. 252 с.

<sup>2</sup>Рухин Л. Б. Основы литологии: учение об осадочных породах / под ред. Н. Б. Вассоевича. 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Гостоптехиздат, 1961. 779 с.

### Интерпретация полученных данных

Существенно повысить информативность и достоверность полученных результатов позволило междисциплинарное сотрудничество в рамках российско-эстонских археологических и палеогеографических исследований, направленных на изучение культурных процессов, происходивших в условиях динамично меняющихся природных обстановок послеледниковья [4; 13; 15]. В работах принимали участие специалисты Института истории материальной культуры РАН, Музея антропологии и этнографии им. Петра Великого РАН, Тартуского университета и университета Оулу. Современные геоархеологические исследования представляют большой интерес в силу их междисциплинарного характера, что позволяет устанавливать взаимосвязи между изменениями природной среды и характером расселения человека. В частности, в рассматриваемом районе выявлено множество стоянок, приуроченных непосредственно к древним береговым линиям [16] либо к косам, образующимся в устьях рек (Йагала, Нарва, Луга, Ижора, Охта). Возможности датирования археологических памятников повышают достоверность определения времени и механизма развития лагунных систем. В свою очередь, детальные палеорекострукции формирования аккумулятивных форм, выполненные с учетом принципов прибрежной литодинамики, позволяют создавать прогностические модели, способствующие выявлению новых археологических памятников [16].

Важным аспектом достоверности выполняемых палеорекострукций является понимание основных закономерностей литоморфодинамики береговых зон, которые наряду с геологическим строением, морфологией и тектоникой являются основными факторами, определяющими размеры, форму и тенденции развития реликтовых береговых форм [22–24].

### РЕЗУЛЬТАТЫ

**Анализ картографических материалов**, включающих космоснимки, топографические и геологические карты, а также анализ цифровой модели рельефа с учетом имеющихся данных об изменениях уровня палеоводоемов восточной части Финского залива [3; 4; 25], позволил выделить ряд принципиально важных морфологических особенностей рельефа изучаемой территории. Установлен характер взаимного расположения аккумулятивных и абразионных береговых форм палеоводоемов и определена наиболее вероятная стадийность их формирования (рис. 1, 2). В рельефе побережья достаточно четко выделяется абразионный уступ максимальной фазы литориновой трансгрессии. К наиболее крупным аккумулятивным формам относятся: две симметричные косы (так называемого «азовского типа» по классификации В. П. Зенковича [26]) по обе стороны от русла р. Луга — Ригикюльская палеокоса на левом (южном) берегу и выявленная по результатам наших исследований Куровицкая палеокоса на правом

(северном) берегу [27]; Кудрукюльская палеокоса (палеопересыпь) — крупнейшая в регионе реликтовая аккумулятивная форма, протягивающаяся на 25 км вдоль современного берега Нарвского залива; серия параллельных реликтовых береговых регрессивных валов; Куземкинская палеоформа.

Простираение, гипсометрическое положение и морфометрические характеристики большинства выявленных в ходе проведенного анализа реликтовых береговых аккумулятивных форм соответствуют концептуальной модели развития региона после максимума литориновой трансгрессии в середине голоцена [4]. Проведенный анализ позволяет выявить сопряженные абразионные и аккумулятивные участки литодинамических систем, установить источники осадочного материала и механизм развития аккумулятивных форм.

Однако уже на этапе ГИС-анализа рельефа стало очевидно, что простираение Куземкинской палеоформы — практически перпендикулярное современному берегу — резко выделяет ее из описанного комплекса аккумулятивных форм и не вписывается в общую картину возможного положения береговых линий послеледниковых палеоводоемов (рис. 2).

В ходе **интерпретации ГРЛ записей** было выделено пять георадарных комплексов (далее — ГК), отличающихся как структурными, так и литологическими особенностями (рис. 3, 4).

Нижний ГК-I характеризуется потерей корреляции сигнала, что возникает в случае изменения литологического состава отложений вниз по разрезу с увеличением содержания глинистых частиц. Граница кровли комплекса имеет яркую ось синфазности, соответствующую эрозионному горизонту. Кровля неровная, на значительном количестве профилей погружающаяся ниже проникающей способности георадара. Больше всего она проявлена в северо-западной части района исследования, с явным погружением в южном направлении в сторону р. Россонь.

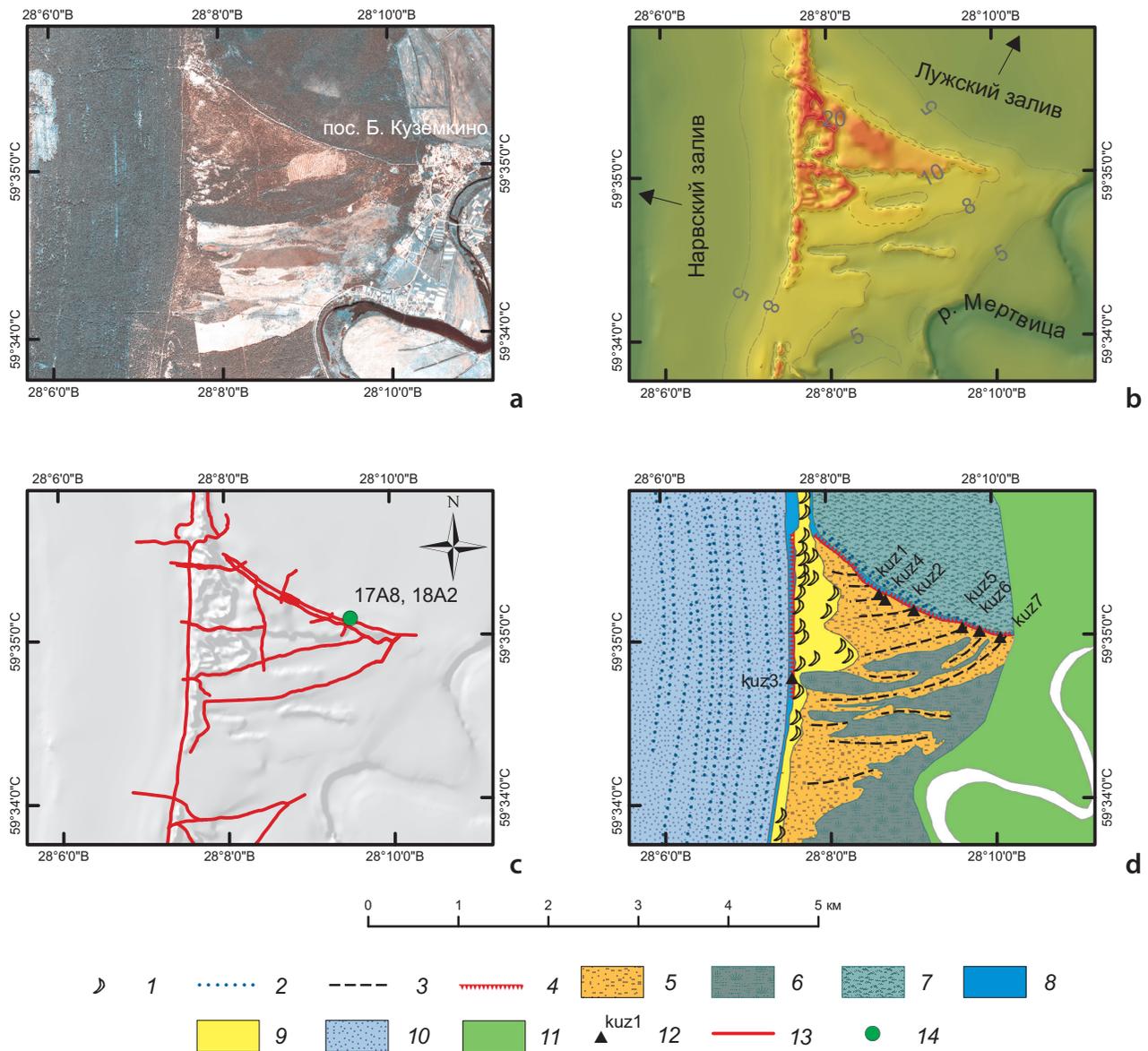
Выше выделяются отложения ГК-II, для которого характерно преобладание субгоризонтальных и слабонаклонных внутренних границ, имеющих хорошо читаемые оси синфазности. Подобный тип записи свойственен обломочным песчано-гравийным отложениям. Внутри комплекса выделяются до двух протяженных горизонтов размыва, отчетливо проявляющихся по яркой и непрерывной оси синфазности.

Верхнюю часть разреза слагают отложения повсеместно развитого ГК-III, имеющего горизонтальное залегание слоев, выдержанность по площади и довольно однородный прозрачный геофизический разрез. Данный комплекс залегает с резким структурным несогласием на нижележащих отложениях. Граница подошвы комплекса имеет яркую субгоризонтальную ось синфазности. Верхняя граница комплекса совпадает с дневной поверхностью на большей части территории и только в пределах развития дюнных гряд перекрыта эоловыми отложениями.

Верхнюю часть разреза исследуемой территории образуют отложения ГК-IV, несогласно перекрывающие нижележащие образования. В верхней части

комплекс характеризуется прозрачностью записи и малой интенсивностью отражающих сигналов. Данный комплекс развит локально и приурочен к субмеридиональному дюнному поясу. Граница

ГК-IV с подстилающими отложениями выделяется по яркой оси синфазности, имеющей довольно выровненную поверхность. Внутри комплекса выделяются наклонные в восточном направлении слои.



**Рис. 2. Куземкинская палеоформа**

**а** — космоснимок местности; **б** — цифровая модель рельефа, составленная на основе оцифровки топографических карт масштаба 1 : 25 000, горизонтали в метрах; **с** — схема георадиолокационного профилирования; **д** — геоморфологическая схема: 1 — дюны, 2 — береговые валы, 3 — косы, 4 — абразионный уступ; поверхности рельефа образованные: 5 — веерными косами (эрозийный останец), 6 — межваловыми заболоченными депрессиями (палеолагуны), 7 — пологонаклонной морской равниной, переходящей в приморскую низменность, 8 — береговым валом (палеопляж), 9 — эоловыми образованиями, 10 — пологонаклонной морской равниной, с выраженными регрессивными береговыми валовыми, 11 — аллювием; 12 — археологические памятники Куземкино и их номера; 13 — профили георадиолокации; 14 — местоположение опорных разрезов 17А8 и 18А2

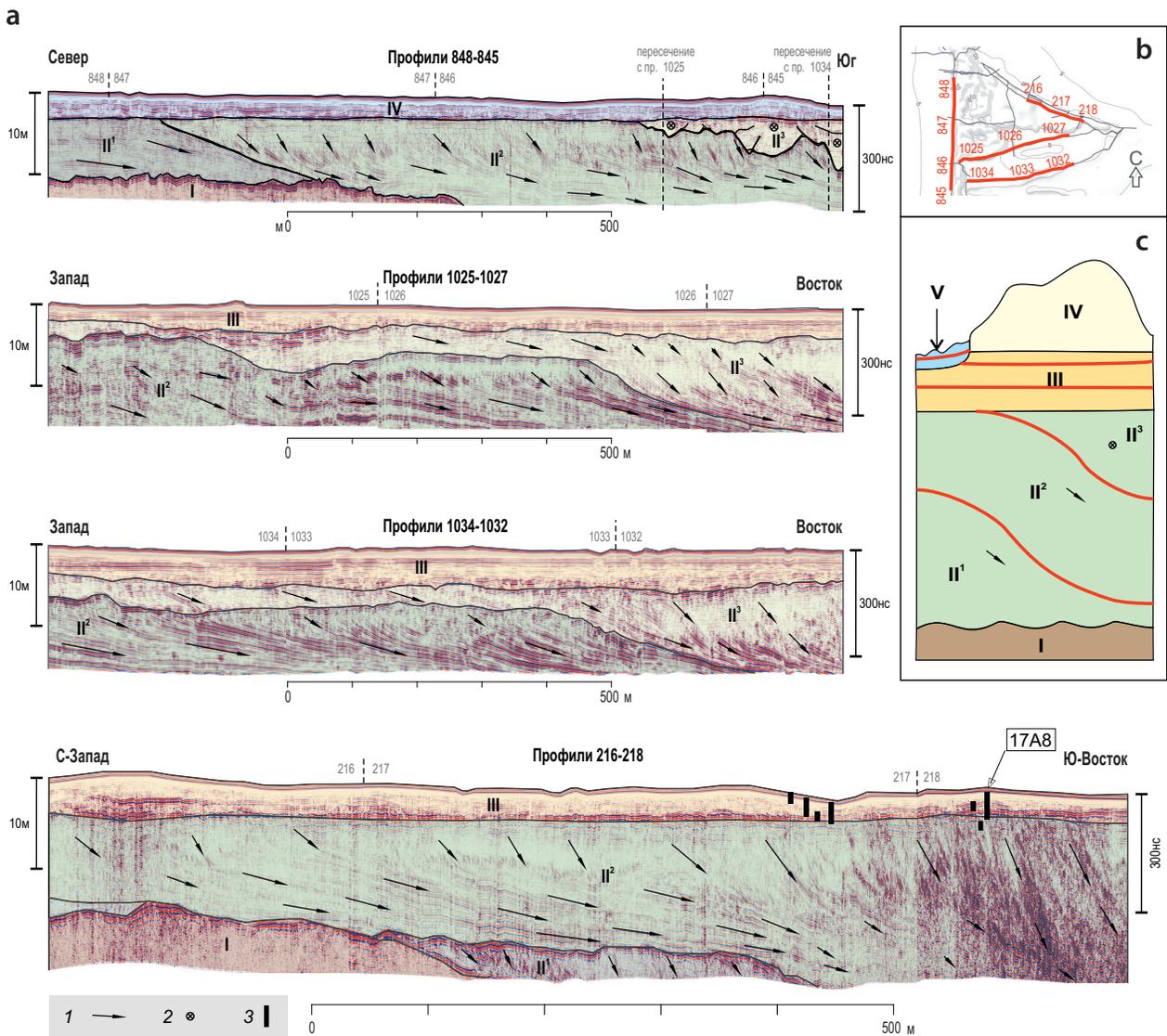
**Fig. 2. Kuzemkino palaeospit**

**a** — satellite image of the area; **b** — digital relief model based on digitized topographic maps at a scale of 1 : 25,000, contours in meters; **c** — diagram of ground-penetrating radar profiling; **d** — geomorphological diagram: 1 — dunes, 2 — longshore bars, 3 — spits, 4 — erosion scarp; relief surfaces formed by: 5 — fan spits (erosive remnant), 6 — bar swampy depressions (palaeolagoons), 7 — gently sloping sea plain turning into a coastal lowland, 8 — longshore bar (palaeobeach), 9 — aeolian formations, 10 — gently sloping sea plain with clearly regressive longshore bars, 11 — alluvium; 12 — archaeological sites of Kuzemkino and their numbers; 13 — ground-penetrating radar profiles; 14 — location of reference sections 17A8 and 18A2

Отложения ГК-V формируют крупное линзовидное тело, с прилеганием примыкающее к Куземкинской палеоформе со стороны Нарвского залива. Комплекс имеет несогласную границу с нижележащими отложениями, выделяемую по яркой оси синфазности вдоль всей подошвы. Внутреннее строение характеризуется довольно яркими отражающими границами субгоризонтального или слабонаклонного (до косоного) залегания слоев. Слой невыдержанный, линзовидный, мощностью от 2 до 10 м.

По *результатам интерпретации НСАП* были выделены отражающие горизонты и сейсмотолщи

четвертичных образований (рис. 5). В основании разреза в интервале глубин 22–25 м ниже уровня моря прослеживается кровля осадочных образований венда. С облеканием ее перекрывают ледниковые отложения позднего неоплейстоцена мощностью слоя около 7 м. Моренный слой перекрывается комплексом отложений, интерпретируемых как верхне-неоплейстоценовые флювиогляциальные. Их кровля залегает от глубин 10 м ниже уровня моря со стороны берега и погружается на запад до глубин около 18 м. Мощность слоя на разрезе достигает 20 м. Венчают разрез маломощные озерные и морские

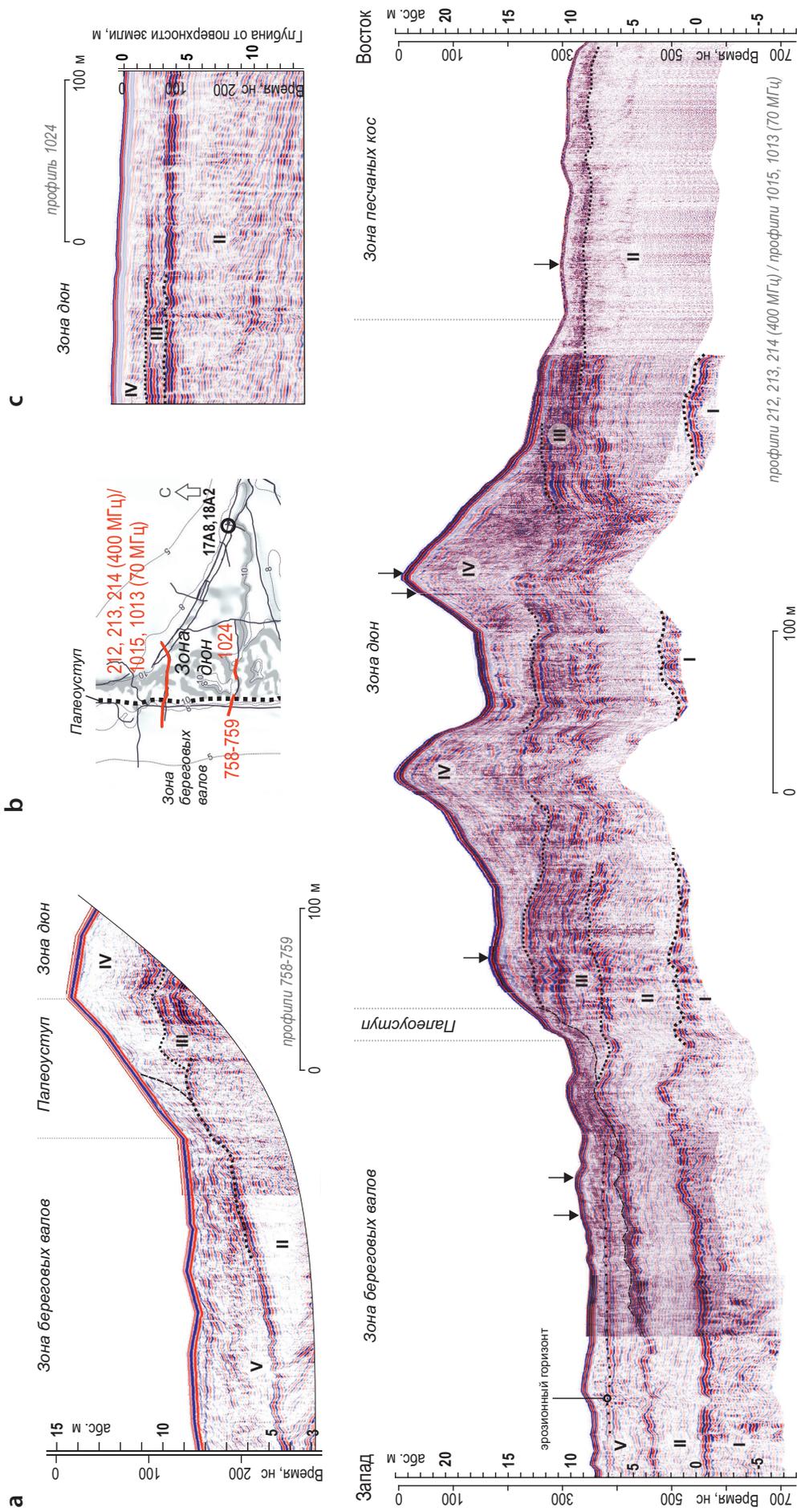


**Рис. 3. Залегание георадарных комплексов в районе Куземкинской палеоформы**

**а** — разрезы, пересекающие палеоформу: элементы залегания слоев внутри комплекса: 1 — вдоль разреза, 2 — поперек (в направлении от зрителя), 3 — расположение буровых скважин и зачисток на разрезе, в том числе 17A8; **б** — схема расположения показанных профилей; **с** — схема соотношения георадарных комплексов: красные линии — эрозионные горизонты

**Fig. 3. Occurrence of ground-penetrating radar unions in the Kuzemkino palaeospit area**

**a** — sections intersecting the palaeospit: the layer occurrence elements within the unit: 1 — along the section, 2 — across (away from the viewer), 3 — location of boreholes and clearings in the section including 17A8; **b** — layout diagram of the demonstrated profiles; **c** — diagram of the ground-penetrating radar union relationships: red lines refer to erosion horizons



**Рис. 4. Комбинированный георадиолокационный разрез (совмещенные записи на частотах 400 и 70 МГц), пересекающий Куземкинскую палеоформу**

*a* — фрагмент профиля 758-759 (200 МГц); *b* — схема расположения георадарных профилей; *c* — фрагмент профиля 1024 (70 МГц); стрелочками показаны места отбора образцов на granulометрический анализ

**Fig. 4. Combined ground-penetrating radar section (combined records at frequencies of 400 and 70 MHz) crossing the Kuzemkino "paleospit"**

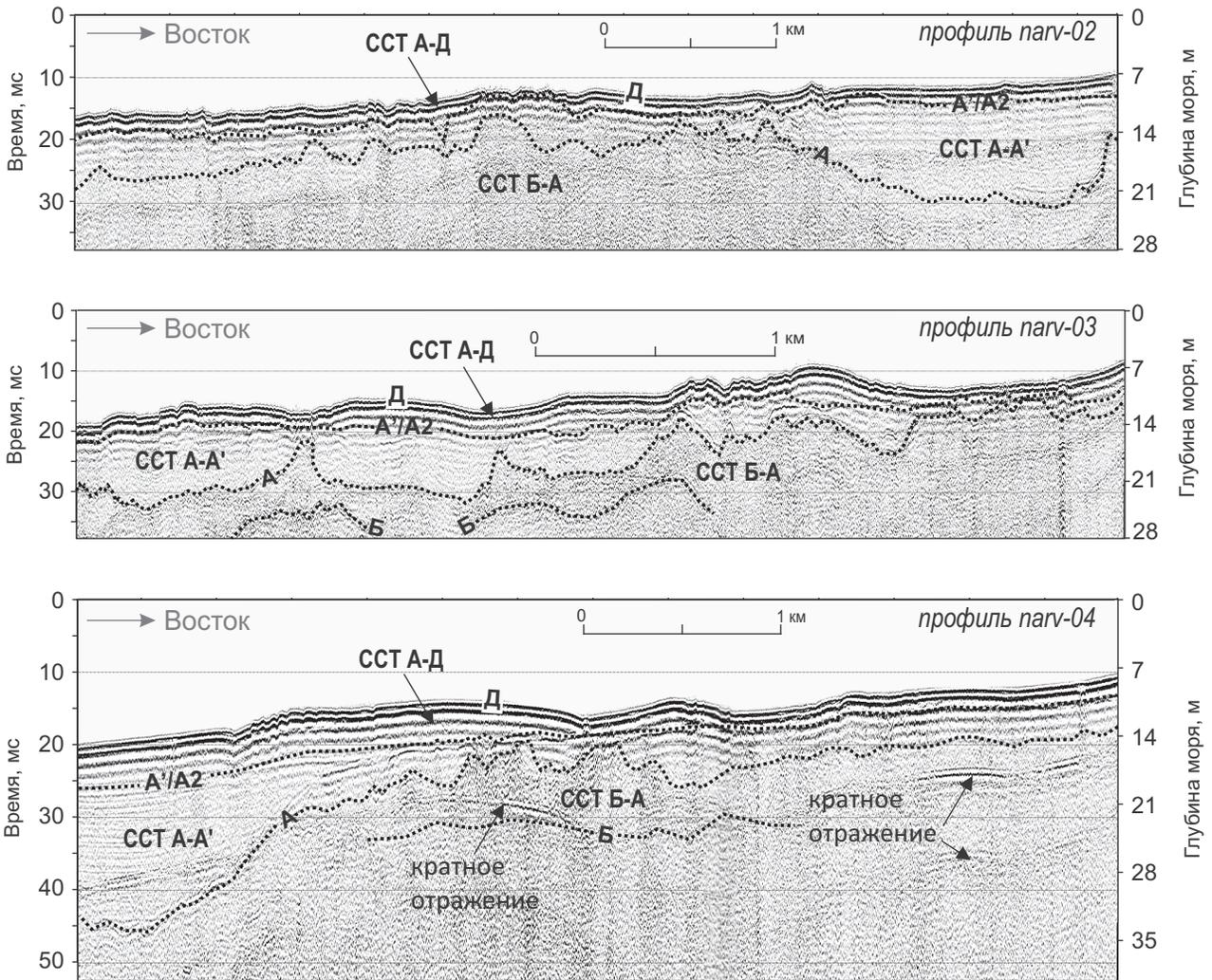
*a* — fragment of profile 758-759 (200 MHz); *b* — layout diagram of ground-penetrating radar profiles; *c* — fragment of profile 1024 (70 MHz); the arrows indicate the sample sites for grain size analysis

отложения голоцена мощностью, не превышающей первых метров.

Для *характеристики вещественного состава* были опробованы отложения ГК-II–ГК-V в пределах Куземкинской палеоформы (рис. 6–8).

Образования ГК-II представлены пачками переслаивания песчаных и грубообломочных отложений. Грубые слои опробованы в основании разреза 17A8 и в шурфе 17A7. Они представлены плохо сортированными галечными отложениями (с примесью мелких валунов), среднее содержание частиц более

2 мм — 62,2 %, в том числе от 10 до 60 % — гальки размером от 2 до 5 см. В интервале 5–50 мм преобладают окатанные зерна (3 балла<sup>1</sup>) с примесью хорошо окатанных (4 балла) и полуокатанных (2 балла) частиц. Песчаные прослои представлены плохо сортированными мелко-среднезернистыми песками ( $M_{\phi} = 0,30$  мм). Поверхность комплекса отделяется от вышележащих отложений эрозионным горизонтом, практически полностью сложенным отмытым грубообломочным материалом (галька, до отдельных мелких валунов) (рис. 7).



**Рис. 5. Интерпретация результатов сейсмоакустического профилирования**

Б — кровля осадочных пород венда; А — кровля ледниковых образований (морены); А'/А2 — отражающий горизонт (кровля неоплейстоценовых отложений/подшва голоцена); Д — поверхность дна; ССТ Б-А — сейсмолитца ледниковых образований (поздний неоплейстоцен); ССТ А-А' — сейсмолитца флювиогляциальных отложений (поздний неоплейстоцен); ССТ А-Д — сейсмолитца объединенных анциловых и литориновых слоев (голоцен)

**Fig. 5. Interpretation of seismic and acoustic profiling results**

Б — roof of the Vendian sedimentary rocks; А — roof of glacial formations (moraines); А'/А2 — reflecting horizon (top of the Neopleistocene deposits/bottom of the Holocene); Д — bottom surface; ССТ Б-А — seismic unit of glacial formations (Late Neopleistocene); ССТ А-А' — seismic unit of fluvio-glacial deposits (Late Neopleistocene); ССТ А-Д — seismic unit of combined Ancylus and Littorina layers (Holocene)

<sup>1</sup>Рухин Л. Б. Основы литологии: учение об осадочных породах / под ред. Н. Б. Вассоевича. 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Гостоптехиздат, 1961. 779 с.

Вышележащие отложения (относятся к ГК-III) представлены субгоризонтальным переслаиванием преимущественно мелко-среднезернистых неслоистых песков и косослоистых (с мульдобразной слоистостью) песчаных пачек с грубообломочными прослоями. ГК-III вскрыт карьером в уступе террасы (разрез 17А8) (видимая мощность 3 м, полная мощность, по данным ГРЛ, составляет 4 м) (рис. 6).

Разрез ГК-III можно подразделить на три пачки. В основании нижней пачки выделяется прослой косослоистых (падение на юго-восток (угол наклона 45°)) плохо сортированных ( $S_o$  — 2,05) средне-мелкозернистых песков ( $M_a$  — 0,30 мм) мощностью 40–50 см. Выше залегают хорошо сортированные ( $S_o$  — 0,92–1,32) неслоистые мелкозернистые пески (мощностью 1,8–2,0 м), разделенные прослоем, обогащенным грубообломочным материалом, содержание которого составляет от 10 до 34 %. Вторая пачка сложена косослоистыми песками, разделенными изменяющимся по мощности (5–20 см) прослоем грубообломочного материала. Как выше, так и ниже этого прослоя залегают косослоистые (с мульдобразной слоистостью) плохо и средне сортированные ( $S_o$  — 1,66–1,87) средне-мелкозернистые пески ( $M_a$  — 0,30–0,33 мм). Грубообломочные прослои в нижней части интервала представлены плохо сортированными ( $S_o$  — 3,2) крупно-грубозернистыми песками ( $M_a$  — 1,0 мм). Грубообломочный прослой сложен гравием, галькой и мелкими (до 10 см) валунами, составляющими 10–65 % осадка и погруженными в плохо сортированный ( $S_o$  — 3,29) крупнозернистый песок ( $M_a$  — 1,5 мм). Гравийные и галечные зерна окатанные (3 балла). Общая мощность прослоя 0,7–0,9 м. Верхняя пачка сложена тонкогоризонтально-слоистыми (в верхней части неслоистыми) хорошо и средне сортированными ( $S_o$  — 1,14–1,68) средне-мелкозернистыми ( $M_a$  — 0,32 мм) песками с редкой галькой. Отложения верхней части ГК-III прослежены в западном направлении, где мощность пачки достигает 4 м, и ее верхняя граница представлена выдержанным по латерали эрозионным горизонтом, обогащенным грубообломочным материалом.

Отложения ГК-IV сложены хорошо и средне сортированными ( $S_o$  — 1,35 (1,17–1,54)) мелко-среднезернистыми песками ( $M_a$  — 0,33 мм).

Отложения ГК-V опробованы в верхней части, где они представлены хорошо сортированными ( $S_o$  — 1,06) мелкозернистыми ( $M_a$  — 0,19 мм) песками.

**Результаты датирования образцов** песчаных отложений, отобранных в опорном разрезе 18А2 Куземкинской палеоформы, показали, что полученный возраст отложений варьирует в интервале от 8,1 до 13,5 тыс. лет (таблица). Распределение датировок по временной шкале и высоте опробования показано и на рис. 9.

## ОБСУЖДЕНИЕ

### Стратиграфия

Нижний георадарный комплекс (ГК-I) благодаря характерным особенностям и четкой корреляции

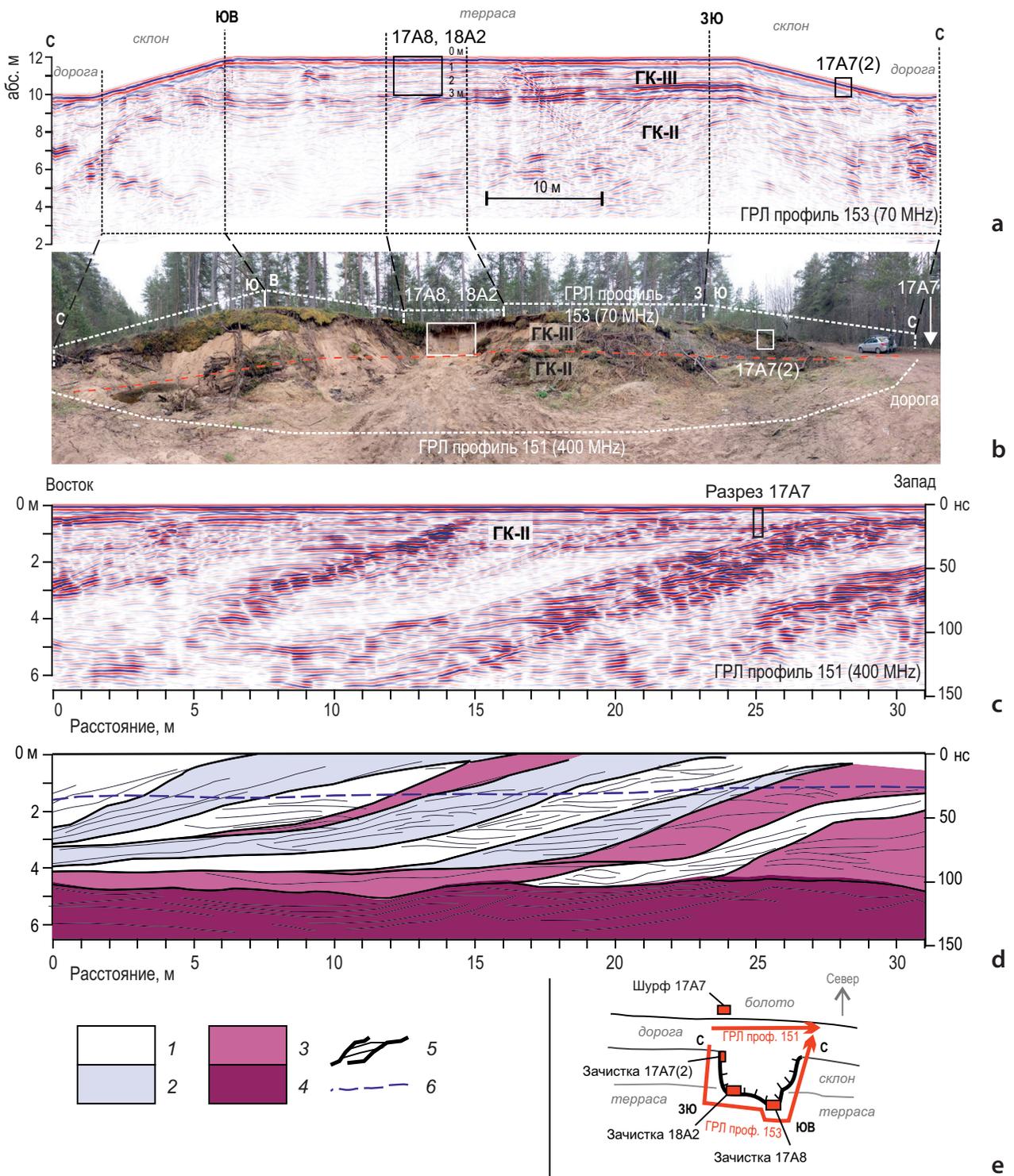
с результатами бурения [10] достаточно однозначно интерпретируется как моренные, существенно суглинистые отложения осташковского горизонта. Согласно результатам геологической съемки, ледниковые отложения в пределах Нарвско-Лужской предглинтовой низменности представлены песчаными глинами, содержащими от 5 до 40–60 % валунно-галечного материала (обломки кристаллических пород). Поверхность морены на профилях георадара хорошо коррелирует с опубликованными данными по суше (от –16...–20 м на юге до –25...+20 м на севере) и результатами сейсмоакустических исследований на акватории Нарвского залива. На профилях георадара субгоризонтальная (слабо наклоненная к востоку) поверхность морены прослеживается на абсолютной высоте от –0,5 до +2 м. Анализ профилей георадара не выявил отложений, соответствующих ленточным или гомогенным глинам, широко распространенным на прилегающих участках морского дна Финского залива. На суше ленточные глины выявлены в южной части Нарвско-Лужской предглинтовой низменности [2; 9; 10] (на абсолютной высоте от –10 до 0 м) и в северной ее части в пределах локальных депрессий рельефа морены, связанных с палеодолинами (палеодолина р. Луга, впадины озер Бабинское, Глубокое и Леший — на абсолютных высотах от –25 до –7 м).

Комплекс отложений ГК-II, залегающий выше по разрезу и широко развитый в северной и центральной частях района исследований, включает три подкомплекса (ГК-II<sup>1</sup>, ГК-II<sup>2</sup>, ГК-II<sup>3</sup>), разделенных несогласными эрозионными границами. Комплекс интерпретируется как терригенные, существенно песчаные отложения, имеющие косослоистое залегание с явным согласным примыканием слоев друг к другу по латерали и постепенным их выполаживанием вдоль разреза.

В пределах разных подкомплексов наблюдается разноориентированное напластование слоев, указывающее на неоднократную смену направлений потока. В опробованной части разреза отложения характеризуются существенно грубообломочным составом (переслаиванием песчаных и гравийно-галечных прослоев), что свидетельствует об их формировании в условиях потоков высоких энергий. Отложения объединены в один комплекс, поскольку имеют однотипные внутренние структуры. Мощность всего комплекса ГК-II на профилях с видимой нижней границей постоянная и составляет около 12–18 м, местами и более.

Вынесенные на плоскость элементы падения слоев потоковых отложений, отражающие направление поступления осадочного материала, приведены на схеме, показывающей формирование ГК-II (рис. 10).

Характер залегания слоев и азимуты их падения позволяют интерпретировать этот комплекс как дельтовый. Их ориентировка характерна для дельтовых фаций флювиальных образований и указывает на то, что участки наиболее крутого падения слоев ограничены в пространстве радиусом около 5–7 км. На схеме показаны как элементы залегания

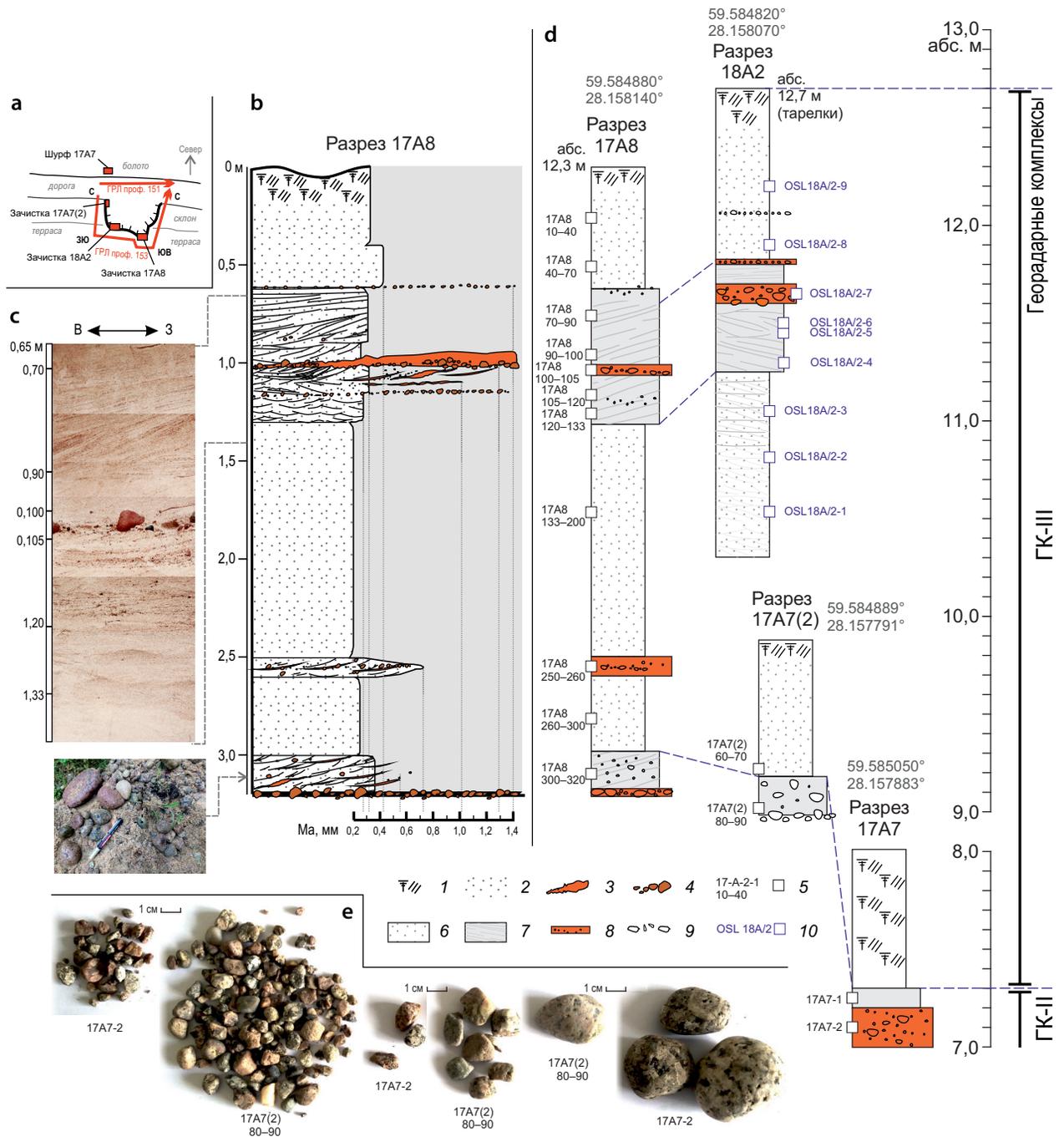


**Рис. 6. Георадарные профили через обнажения 17А8/18А2 в районе п. Большое Куземкино**

**а** — профиль 153 (частота антенны 70 МГц); **б** — фотопанорама обнажения; **в** — профиль 151 (частота антенны 400 МГц); **д** — интерпретация профиля 151: 1 — зоны с низкой амплитудой отраженных сигналов (существенно песчаные косослоистые отложения), 2 — зоны со средней интенсивностью отраженных сигналов (песчаные косослоистые отложения с примесью гравия), 3 — зона высокоамплитудных отражений (пески с гравием и галькой), 4 — горизонтально-слоистая толща, 5 — внутренние границы ГК-II, 6 — уровень грунтовых вод; **е** — схема расположения георадарных профилей и обнажений

**Fig. 6. Ground-penetrating radar profiles through outcrops 17A8/18A2 in the village Bolshoye Kuzemkiно area**

**a** — profile 153 (antenna frequency 70 MHz); **b** — photo panorama of the outcrop; **c** — profile 151 (antenna frequency 400 MHz); **d** — interpretation of profile 151: 1 — zones with low-amplitude reflected signals (heavily sandy cross-bedded deposits), 2 — zones with medium-intensity reflected signals (sandy cross-bedded deposits with gravel traces), 3 — zone of high-amplitude reflections (sands with gravel and pebbles), 4 — horizontally bedded unit, 5 — internal boundaries of GK-II, 6 — groundwater level; **e** — layout of ground-penetrating radar profiles and outcrops

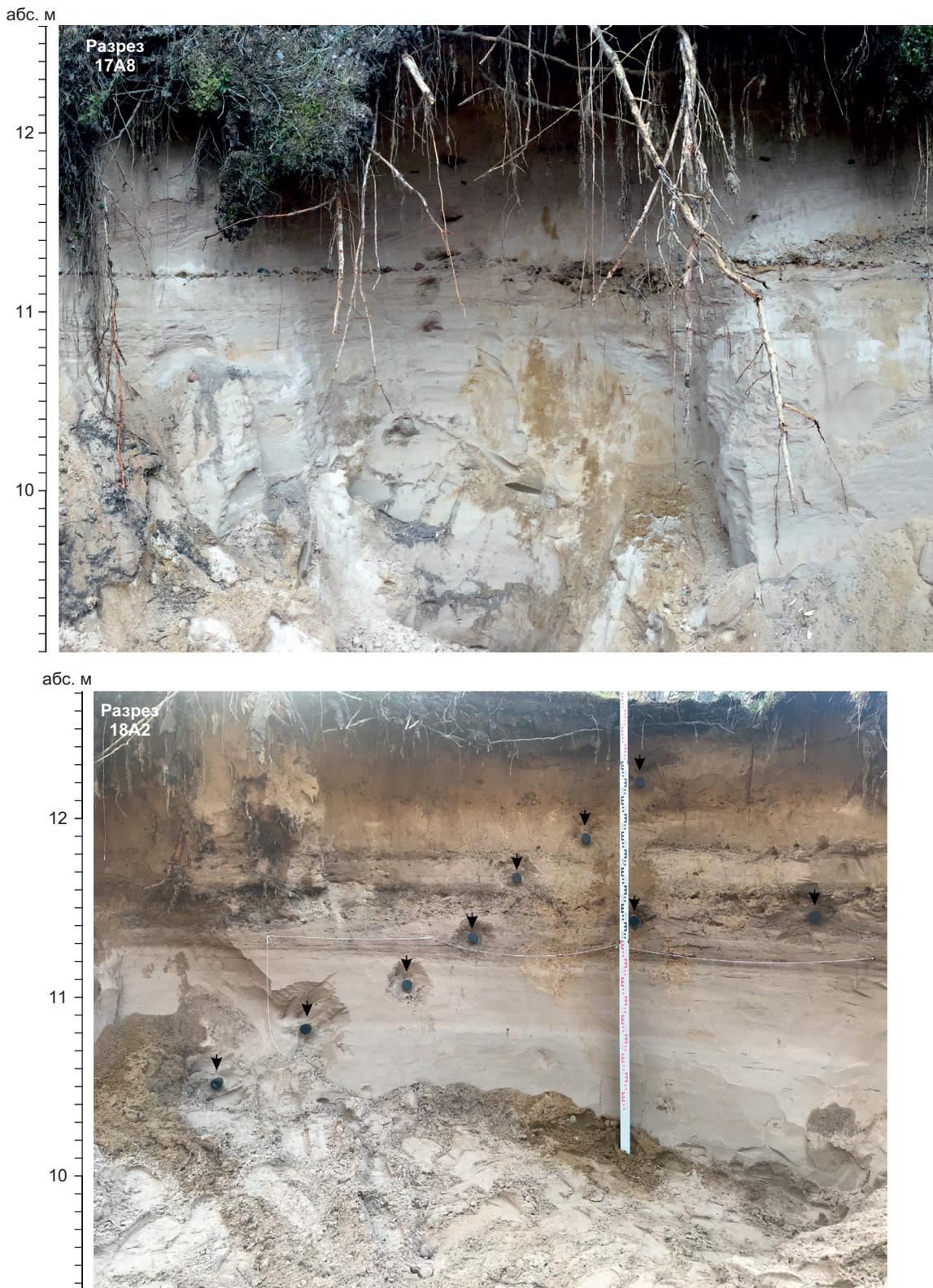


**Рис. 7. Обнажения 17А8/18А2 в районе п. Большое Куземкино**

**а** — схема расположения георадарных профилей и обнажений; **б** — литологическая колонка разреза 17А8, отражающая гранулометрический состав отложений; **в** — фотографии обнажения 17А8; **г** — схематические литологические колонки обнажений и их корреляция: 1 — почва, 2 — песок, 3 — гравий, 4 — галька и мелкие валуны, 5 — места отбора образцов на гранулометрический анализ, 6 — пески массивные средне- и мелкозернистые, 7 — косослоистые пески средне- и крупнозернистого состава, 8 — существенно грубозернистые пески с гравием, 9 — включения гальки и гравия, 10 — места отбора образцов на анализ оптически стимулированной люминесценции; **е** — фотографии грубообломочного материала из отложений ГК-II

**Fig. 7. Outcrops 17A8/18A2 in the village Bolshoye Kuzemkino area**

**а** — layout diagram of ground-penetrating radar profiles and outcrops; **б** — lithological log of section 17A8 reflecting the grain size composition of sediments; **в** — photographs of outcrop 17A8; **г** — schematic lithological logs of outcrops and their correlation: 1 — soil, 2 — sand, 3 — gravel, 4 — pebbles and small boulders, 5 — sample sites for grain size analysis, 6 — medium- and fine-grained heavy sands, 7 — medium- and hard-grained cross-bedded sands, 8 — heavily coarse-grained sands with gravel, 9 — inclusions of pebbles and gravel, 10 — sample sites for optically stimulated luminescence analysis; **е** — photos of coarse-grained material from GK-II deposits



**Рис. 8. Фото обнажений 17A8 и 18A2**

Стрелочки показывают места отбора образцов на датирование методом оптически стимулированной люминесценции

**Fig. 8. Photo of outcrops 17A8 and 18A2**

Arrows indicate sample sites for optically stimulated luminescence analysis

**Результаты расчета возраста оптически стимулированной люминесценции**

Optically stimulated luminescence dating calculation results

№ лаб.	№ полевой	Кол-во навесок (аликвот)	U, ppm	Th, ppm	K, %	Мощность дозы, Гр/тыс. лет	Палеодоза, Гр	Возраст, тыс. лет
RGI-0137	18A-2(1)	10	1,19 ± 0,2	4,12 ± 0,57	2,50 ± 0,16	2,55 ± 0,16	29,9 ± 2,9	11,7 ± 1,3
RGI-0138	18A-2(2)	12	1,6 ± 0,11	5,26 ± 0,83	2,16 ± 0,14	2,50 ± 0,14	27,0 ± 1,8	10,8 ± 0,9
RGI-0125	18A-2(3)	10	1,46 ± 0,17	4,64 ± 0,45	2,14 ± 0,17	2,40 ± 0,12	32,6 ± 1,4	13,5 ± 0,9
RGI-0127	18A-2(4)	9	1,51 ± 0,12	4,2 ± 0,71	2,97 ± 0,18	3,11 ± 0,17	34,7 ± 2,3	11,1 ± 1,0
RGI-0131	18A-2(5)	13	1,45 ± 0,14	3,96 ± 0,55	2,50 ± 0,16	2,85 ± 0,14	34,9 ± 2,0	12,3 ± 0,9
RGI-0132	18A-2(6)	10	2,12 ± 0,31	4,19 ± 0,57	2,97 ± 0,19	3,30 ± 0,14	35,8 ± 2,9	10,9 ± 1,0
RGI-0133	18A-2(7)	7	1,65 ± 0,21	4,68 ± 0,60	2,65 ± 0,17	2,84 ± 0,17	35,2 ± 2,2	12,4 ± 1,1
RGI-0134	18A-2(8)	11	1,4 ± 0,19	3,85 ± 0,78	2,43 ± 0,15	2,78 ± 0,14	36,0 ± 1,1	13,0 ± 0,8
RGI-0135	18A-2(9)	11	1,61 ± 0,51	4,24 ± 0,74	2,01 ± 0,16	2,44 ± 0,16	19,7 ± 1,4	8,1 ± 0,8

Примечание. Измерение палеодозы для всех образцов производилось по кварцу

Note. The palaeodose for all samples was measured in quartz

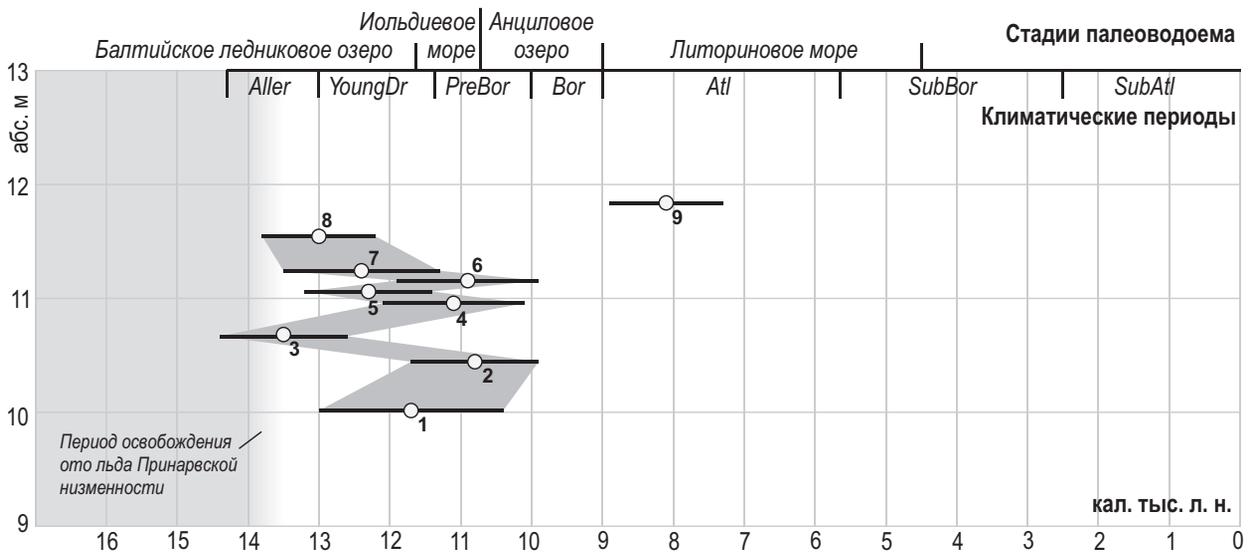


Рис. 9. Диаграмма распределения датировок методом оптически стимулированной люминесценции по абсолютной высоте и времени

Fig. 9. Diagram of optically stimulated luminescence dating distribution by absolute height and time

дельт более ранних генераций (ГК-II<sup>1</sup> и ГК-II<sup>2</sup>), так и дельт более поздней генерации (ГК-II<sup>3</sup>). Генеральное направление проградационных слоев дельт разных генераций приблизительно одинаково, однако на отдельных участках были выявлены четкие зоны палеоврезов, несогласно пересекающих более древнюю часть дельты. При прослеживании погребенных врезов вдоль тальвегов было установлено, что они латерально переходят в более молодую дельту (ГК-II<sup>3</sup>), открывающуюся в восточном направлении. Четкая проградационная структура слоев грубозер-

нистых отложений ГК-II аналогична типичным текстурным особенностям отложений речных [28; 29] или флювиогляциальных дельт [30–32]. Выявленная структура наиболее соответствует отложениям так называемой “Gilbert-type delta” (дельта Джилберта) [33] и представляет собой круто наклонные проградационные слои подводного фронта дельты (foreset), перекрытые субгоризонтальными прослоями отложений дельтовой равнины (topset). Отложения этого типа дельт формируются при разгрузке осадочного материала в озерные или морские водоемы [34].

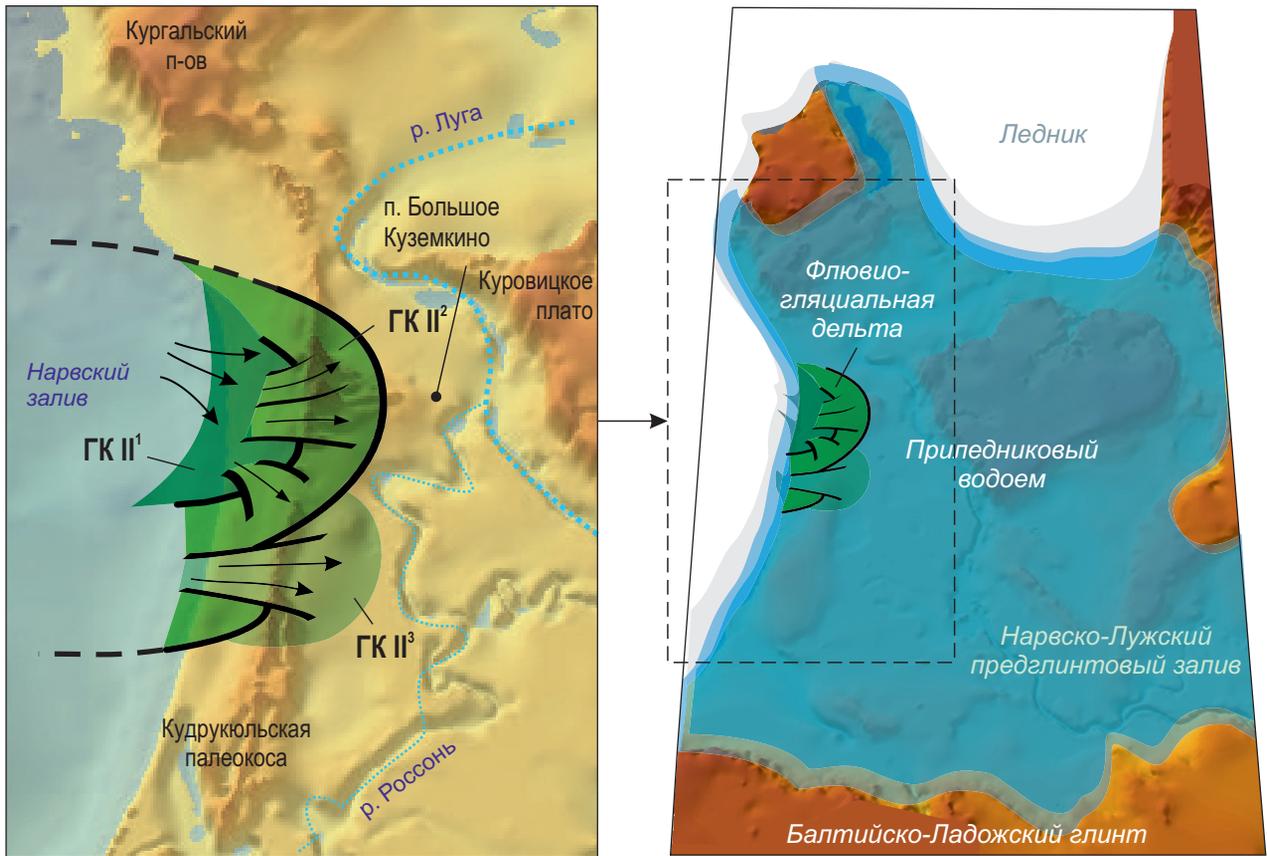


Рис. 10. Модель формирования георадарного комплекса II, демонстрирующая расположение флювиогляциальной дельты и показывающая генеральное направление поступления осадочного материала

ГК-II — георадарный комплекс с подкомплексами (<sup>1,2</sup> и <sup>3</sup>) разных генераций дельты; стрелками показаны элементы падения слоев потоковых отложений

Fig. 10. Palaeogeographic model of forming ground-penetrating radar unit II to locate the fluvio-glacial delta and demonstrate the general direction of sediment supply

ГК-II — ground-penetrating radar unit with subunits (<sup>1,2</sup> and <sup>3</sup>) of different delta generations; arrows indicate elements of the flow sediment layer falls

Отложения ГК-II прослежены на площади более 30 км<sup>2</sup>, протянувшейся на 7 км вдоль побережья Нарвского залива и на 4,5 км вглубь суши. Кроме того, песчаное тело флювиогляциального генезиса выявлено сейсмоакустическим профилированием в пределах прибрежных мелководий Нарвского залива, в 3 км от береговой линии (рис. 5). Четырнадцать скважин, пробуренных на глубине 10 м, выявили наличие толщи крупно-грубозернистых песков с гравием и галькой мощностью от 4 до 10 м [1]. Предполагается, что это мог быть единый флювиогляциальный комплекс отложений, который в ходе колебания уровня моря был частично размыт.

Морфология Нарвско-Лужской предглинтовой низменности, характеризующаяся слабым уклоном как рельефа поверхности морены, так и современного рельефа приморской низменности в западном направлении, исключает возможность формирования отложений речных дельт, растущих с запада на восток на протяжении всего периода послеледниковой истории Финского залива [4]. Кроме того, гранулометрический состав отложений, в котором

доминируют галька и гравий, их мощность (до 18 м), стратиграфическое положение и широкое площадное распространение не позволяют рассматривать аллювиальные процессы в качестве механизма формирования описываемых отложений. Направление формирования проградационных слоев дельты и стратиграфическое положение отложений делают наиболее вероятным их флювиогляциальный генезис [30–32]. Источником осадочного материала мог быть край ледника стадии Пандивере, располагавшегося вдоль береговой линии современного Нарвского залива [35]. Формирование флювиогляциальной дельты происходило в результате поступления осадочного материала со стороны тающего ледника и разгрузки его в мелководное (глубиной около 20 м) ледниково-подпрудное озеро, не имевшее в рассматриваемое время стока в юго-восточном направлении. Такая трактовка не противоречит существовавшим тогда уровням приледникового водоема.

Отложения ГК-III залегают субгоризонтально с угловым несогласием на отложениях нижележащего

комплекса. ГК-III представлен песками различных гранулометрических типов. Его мощность уменьшается в западном направлении с 15–18 до 4–5 м. Генетическая интерпретация отложений ГК-III оставалась неоднозначной до получения результатов ОСЛ-датирования. Анализ гранулометрических параметров и текстурных особенностей этих отложений указывает на их формирование в прибрежных условиях. В обнажении эти отложения представлены как горизонтально-слоистые, однако анализ радарограмм на более широкой площади указывает на наличие слабого уклона слоев с запада на восток, совпадающего с направлением проградационной слоистости фронта флювиогляциальной дельты. Гипсометрическое положение этого комплекса позволяет интерпретировать его либо как верхний горизонт флювиогляциальной дельты (topset), либо как прибрежные образования комплекса времени анциловой трансгрессии. Данные ОСЛ-датирования (13,0–10,8 тыс. л. н.) свидетельствуют в пользу первой гипотезы.

Отложения в пределах видимого разреза развиты практически повсеместно, с повышением отметок кровли к западу от п. Большое Куземкино. Проследивание их распространения позволило с высокой степенью уверенности утверждать, что наиболее мощные дюнные массивы, выделяющиеся в рельефе района, приурочены к поднятиям кровли ГК-III. На западе происходит срезание толщи в результате морской голоценовой трансгрессии, на юго-востоке перекрытие отложений происходит согласно за счет прилегания к понижающейся кровле флювиогляциального комплекса более поздних вышележащих отложений.

Следует отметить, что флювиогляциальные отложения (озы, камы, зандры) были ранее выявлены в Нарвско-Лужской предглинтовой низменности [9; 10]. Камы сложены преимущественно алевритовыми песками с валунами. Крупнозернистые пески с галькой и валунами формируют зандры [9], покрывающие поверхность Куровицкого, Кургаловского и Крикковского плато. Максимальная мощность ранее описанных в исследуемом районе флювиогляциальных отложений составляла 7 м. Новые данные георадарного профилирования показали, что флювиогляциальные отложения значительно шире распространены, чем это предполагалось ранее. Впоследствии в голоцене именно они послужили источником формирования многочисленных береговых аккумулятивных форм.

*Отложения ГК-IV* представляют собой образования дюнного массива с характерной внутренней структурой. Максимальная мощность этих отложений приурочена к поднятиям поверхности флювиогляциальной дельты (ГК-III). В верхней части разреза отложения представлены мелко-среднезернистыми песками. Наличие внутренних границ в ГК-IV позволяет предположить несколько фаз активизации эоловых процессов, на протяжении голоцена чередовавшихся со стабилизацией дюнного массива. По данным исследований южного побережья Финского залива [36] и Юго-Восточной Балтики [37], в голоценовой истории развития Балтики выде-

ляется несколько фаз активизации дюн. Наиболее интенсивная наблюдалась после спуска вод Балтийского ледникового озера (около 11,7 тыс. л. н.) и в ходе преданциловой регрессии, когда осушались значительные пространства ранее сформировавшихся водно-ледниковых отложений. Еще одна фаза активизации дюн, с которой наиболее вероятно связано и дюнообразование в Нарвско-Лужской предглинтовой низменности, обусловлена падением уровня моря в ходе предлиториновой регрессии.

*Отложения ГК-V* развиты полосой вдоль берега Нарвского залива и с угловым несогласием примыкают к отложениям флювиогляциальной дельты с запада. Комплекс характеризуется косою слоистостью с падением слоев в сторону Нарвского залива. Характер залегания и распространения ГК-V позволяет интерпретировать его как отложения голоценовых палеоводоемов, занимавших впадину Финского залива на протяжении голоцена. Вдоль морского края Кудрукюльской палеокосы (со стороны Нарвского залива) отложения ГК-V ограничены четким и относительно крутым (около 10°) палеоступом (рис. 4). В ГК-V выделяются две внутренние эрозионные границы, разделяющие комплекс на две пачки (рис. 3, б, 4), характеризующиеся различными текстурными особенностями при общем преобладании косослоистых серий с падением слоев в западном направлении. Наиболее вероятно, формирование происходило в ходе анциловой и литориновой трансгрессий соответственно.

Можно предположить, что нижний эрозионный контакт ГК-V представляет собой палеобенч, сформировавшийся при уровне максимальной регрессии, предшествующей началу анциловой трансгрессии, в ходе которой началась интенсивная абразия отложений флювиогляциальной дельты и формирование береговых аккумулятивных форм. Внутренний эрозионный контакт, в свою очередь, отвечает времени предлиториновой регрессии водоема.

Отложения этого же комплекса выходят на дневную поверхность в пределах приморской низменности и ими сложены реликтовые береговые валы, установленные на абсолютной высоте +8,5 м как вдоль западного, так и с северо-восточного края Куземкинской палеоформы. Гранулометрический состав верхней пачки ГК-V аналогичен современным пляжевым отложениям Нарвского залива [1].

### *Палеогеографические модели*

Максимальный уровень литориновой трансгрессии в Нарвско-Лужской предглинтовой низменности в соответствии с моделью, представленной в [4] в районе Куземкинской палеоформы, составлял 10,5–11,0 м. Количество флуктуаций уровня Литоринового моря в рассматриваемом районе остается дискуссионным. По данным палеолимнологических исследований [3], морская трансгрессия достигала озерных систем Нарвско-Лужской предглинтовой низменности в период между 8,0 и 5,7 тыс. кал. л. н. Две фазы трансгрессии датируются временем 7,8–7,1 тыс. кал. л. н. (стабилизация уровня на высоте +10 абс. м) и 6,9–6,0 тыс. кал. л. н. (стабилизация

уровня на высоте +9 абс. м). В оз. Леший, расположенном на изобазе гляциоизостатического поднятия, близкой к рассматриваемому участку, максимальный уровень литориновой трансгрессии фиксируется на высоте +7,6 абс. м [3]. Также предполагается флуктуация уровня моря около 3,0 тыс. кал. л. н. А. Лепланд [2] на основе детальных стратиграфических исследований южной части Нарвско-Лужской предглинтовой низменности предполагает развитие трех фаз трансгрессии с максимумом на высоте +10 абс. м.

Наиболее важным выводом, который можно сделать, анализируя полученные геолого-геофизические данные, является то, что в максимальную фазу литориновой трансгрессии восточная часть Куземкинской аккумулятивной формы представляла собой участок суши, в то время как с запада и северо-востока она подвергалась интенсивному размыву.

Полученные результаты хорошо коррелируют с данными археологических исследований. Первые археологические памятники, установленные в регионе, соответствуют времени после максимальной фазы литориновой трансгрессии — около 7,2 тыс. кал. л. н. [14]. Предположения о возрасте Куземкинской палеоформы получили подтверждение благодаря археологическим исследованиям, в ходе которых были обнаружены новые памятники (Куземкино 1, 6, 7, 4 и 2). На основании типологии археологического материала памятники могут быть отнесены к наиболее ранней в регионе нарвской культуре (7,5–7,2 тыс. кал. л. н.), что позволяет рассматривать их как потенциально опорные источники для изучения раннего неолита региона [16].

Археологические памятники более позднего этапа развития (Comb Ware culture), датирующиеся временем 5,9–5,8 тыс. кал. л. н., располагаются вдоль берега Кудрукюльской палеокосы [16], сформировавшейся в позднем голоцене в результате размыва флювиогляциальных отложений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предглинтовой низменности в районе п. Большое Куземкино по геоморфологическим признакам и данным дистанционного анализа была выделена Куземкинская палеоформа. Она имеет несвойственную современным прибрежным образованиям морфологию и не вписывается в общую картину возможного положения береговых линий послеледниковых палеоводоемов. Результаты выполненной геолого-геофизической интерпретации показывают, что ядром Куземкинской палеоформы является массив флювиогляциальных отложений. Особенности залегания флювиальных тел, прослеженных георадиолокационным профилированием, позволяют уверенно выделить несколько генераций приледниковых дельт типа «Джильберта», сформировавшихся на этапе отступления ледника от стадии Пандивере. Ограниченная область их формирования и гранулометрические характеристики опробованных отложений предполагают довольно быструю аккумуляцию осадочного материала в относительно мелководное (глубины около 20 м) ледниково-подпрудное озеро

в результате поступления большого количества грубообломочного и песчаного вещества. Наличие мощной зоны флювиогляциальной аккумуляции, смежной с Куземкинской палеоформой, подтверждается данными непрерывного сейсмоакустического профилирования и вибробурения на прилегающем морском дне Нарвского залива. В голоцене переработка отложений флювиогляциальной дельты происходила водами Анцилового озера и Литоринового моря. Установленные две внутренние эрозионные границы, выделенные в комплексе прибрежных отложений со стороны Нарвского залива, предположительно связаны со значительными колебаниями уровня водоема в начале и середине голоцена (анциловая и литориновая трансгрессии). В максимальную фазу литориновой трансгрессии Куземкинская палеоформа не была полностью затоплена и представляла собой полуостров или остров. Относительно длительная стабилизация уровня моря зафиксирована на высоте +8,5 абс. м. В период после максимума литориновой трансгрессии Куземкинская палеоформа стала активно заселяться человеком, свидетельством чего является обнаружение здесь contemporaneous стоянок эпохи раннего неолита. В позднем голоцене произошла стабилизация уровня Балтийского моря, перевешивание морских отложений привело к образованию мощного дюнного пояса и формированию крупнейшей в регионе прибрежной барьерной формы — Кудрукюльской палеокосы — и крупной лагунной системы, широко освоенной древним человеком.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря / гл. ред. О. В. Петров. СПб. : ВСЕГЕИ, 2010. 77 с.
2. Holocene sea-level changes and environmental history in the Narva area, north-eastern Estonia / A. Lepland [et al.] // Coastal Estonia: Recent advances in environmental and cultural history / Eds. T. Hackens [et al.]. Vol. 51. Rixensart : PACT Belgium, 1996. P. 313–358.
3. Mid-Holocene Littorina Sea transgressions based on stratigraphic studies in coastal lakes of NW Russia / P. Sandgren [et al.] // GFF. 2004. Vol. 126, no. 4. P. 363–380. <https://doi.org/10.1080/11035890401264363>.
4. Stone Age settlement and Holocene shore displacement in the Narva-Luga Klint Bay area, eastern Gulf of Finland / A. Rosentau [et al.] // Boreas. 2013. Vol. 42, no. 4. P. 912–931. <https://doi.org/10.1111/bor.12004>.
5. Tammekann A. The Baltic Glint. Part I. Morphography of the Glint. No. 24. Tartu, Estonia : Publicationes Instituti Universitatis Tartuensis Geographici, 1940. 103 p.
6. Kessel H. On the age of Holocene transgressions of the Baltic Sea in Estonia by palynological analysis // Baltica. 1963. Vol. 1. P. 101–115.
7. Кессл Х. Я., Раукас А. В. Прибрежные отложения Анцилового озера и Литоринового моря в Эстонии. Таллин : Изд-во «Валгус», 1967. 134 с.
8. Martin E., Schwartz M. Geomorphic evolution of the Narva-Luga coast, USSR // Shore Beach. 1991. Vol. 59, no. 2. P. 28–32.
9. Марков К. К. Развитие рельефа северо-западной части Ленинградской области. Вып. 1. М. ; Л. : Геол. изд-во, 1931. 26 с.
10. Самет Э. Ю., Шмаенок А. И. Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Ильменская. Лист О-35-В.

Объяснительная записка / ред. В. А. Котлуков. М. : Изд-во «Недра», 1980. 106 с.

11. Логвиненко Н. В., Барков Л. К., Усенков С. М. Литология и литодинамика современных осадков восточной части Финского залива. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1988. 144 с.

12. Орвику К., Гранэ О. Современные берега // Геология Финского залива / под ред. А. Раукаса и Х. Хюваринена. Таллинн, 1992. С. 219–238.

13. Stone Age research in the Narva-Luga Klint Bay area in 2005–2014 / A. Kriiska [et al.] // New Sites, New Methods: Proc. of the Finn.-Russ. Archaeol. Symp., Helsinki, 19–21 Nov. 2016 / Eds. P. Uino, K. Nordqvist. Vol. 21. Helsinki : Waasa Graphics Oy, 2016. P. 101–115.

14. Late Mesolithic Narva stage in Estonia: Pottery, settlement types and chronology / A. Kriiska [et al.] // Estonian Journal of Archaeology. 2017. Vol. 21, no. 1. P. 52–86. <https://doi.org/10.3176/arch.2017.1.03>.

15. New data on the postglacial development of Narva-Luga Klint Bay (Eastern Gulf of Finland): Results of geoarchaeological research / D. V. Ryabchuk [et al.] // J Coast Conserv. 2019. Vol. 23. P. 727–746. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0670-5>.

16. Памятники каменного века российской части Нарвско-Лужского междуречья / отв. ред. Д. В. Герасимов. СПб. : МАЭ РАН, 2019. 199 с.

17. Геология четвертичных отложений северо-запада Европейской части СССР / под ред. Н. И. Апухтина, И. И. Краснова. Л. : Изд-во «Недра», 1967. 344 с.

18. Романовский С. И. Седиментологические основы литологии. Л. : Изд-во «Недра», 1977. 408 с.

19. Рожков Г. Ф. Геологическая интерпретация гранулометрических параметров по данным дробного ситового анализа // Гранулометрический анализ в геологии. М., 1978. С. 5–25.

20. Котельников Б. Н. Реконструкция генезиса песков: гранулометрический состав и анализ эмпирических полигонов распределения / под ред. В. Н. Шванова. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1989. 132 с.

21. Durcan J. A., King G. E., Duller G. A. T. DRAC: Dose rate and age calculator for trapped charge dating // Quaternary Geochronology. 2015. Vol. 28. P. 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2015.03.012>.

22. Holocene evolution of the irregularly sinking Baltic Sea coast and the interactions of the sea-level rise, accumulation space and sediment supply / R. Lampe [et al.] // Bericht der Römisch-Germanischen Kommission / Eds. J. Harff, F. Luth. 2007. Bd. 88. S. 14–46.

23. Harff J., Meyer M. Coastlines of the Baltic Sea — zones of competition between geological processes and a changing climate: Examples from the Southern Baltic // The Baltic Sea basin. Central and Eastern European development studies (CEEDES) / Eds. J. Harff, S. Björck, P. Hoth. Berlin, Heidelberg : Springer, 2011. P. 149–164. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-17220-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-17220-5_7).

24. Interpreting monitoring data for shoreline and geohazard mapping / A. Colenutt [et al.] // Maritime Engineering. 2015. Vol. 168, no. 3. P. 118–124. <https://doi.org/10.1680/jmaen.15.00018>.

25. Palaeoenvironment of the Karelian Isthmus, the easternmost part of the Gulf of Finland, during the Littorina Sea stage of the Baltic Sea history / A. Miettinen // Boreas. 2007. Vol. 36, no. 4. P. 441–458. <https://doi.org/10.1080/03009480701259284>.

26. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. М. : Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.

27. Development of the coastal systems of the easternmost Gulf of Finland, and their links with Neolithic-Bronze and Iron Age settlements / D. Ryabchuk [et al.] // Geology and archaeology: Submerged landscapes of the continental shelf / Eds. J. Harff, G. Bailey, F. Luth. Vol. 411. London : Geological Society, 2016. P. 51–76. <https://doi.org/10.1144/SP411.5>.

28. Tercier P., Knight R., Jol H. A comparison of the correlation structure in GPR images of deltaic and barrier-spit

depositional environments // Geophysics. 2000. Vol. 65, no. 4. P. 1142–1153. <https://doi.org/10.1190/1.1444807>.

29. Uścińowicz S. Relative sea level changes, glacio-isostatic rebound and shoreline displacement in the Southern Baltic // Polish Geological Institute Special Papers. Vol. 10. Warszawa, 2003. P. 1–79.

30. Heinz J., Aigner Th. Hierarchical dynamic stratigraphy in various Quaternary gravel deposits, Rhine glacier area (SW Germany): Implications for hydrostratigraphy // Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.). 2003. Vol. 92. P. 923–938. <https://doi.org/10.1007/s00531-003-0359-2>.

31. Sokołowski R. J. Middle and Late Pleistocene fluvial to glacio-deltaic succession in the Mrzezino site, northern Poland // Quaternary geology of north-central Poland: From the Baltic coast to the LGM limit / Eds. R. Sokołowski, D. Moskalewicz. Gdynia, Poland : Wydzał Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego, 2016. P. 35–52.

32. Upslope-migrating bedforms in a proglacial Sandur Delta: Cyclic steps from river-derived underflows? / P. Dietrich [et al.] // Journal of Sedimentary Research. 2016. Vol. 86, no. 1. P. 112–122. <https://doi.org/10.2110/jsr.2016.4>.

33. Gilbert G. K. The topographic features of lake shores // U. S. Geological survey. 5th annual report. Washington, 1885. P. 69–123.

34. Gobo K., Ghinassi M., Nemeč W. Gilbert-type deltas recording short-term base-level changes: Delta-brink morphodynamics and related foreset facies // Sedimentology. 2015. Vol. 62 (7). P. 1923–1949. <https://doi.org/10.1111/sed.12212>.

35. Vassiljev J., Saarse L. Timing of the Baltic Ice Lake in the eastern Baltic // Bulletin of the Geological Society of Finland. 2013. Vol. 85. P. 9–18. <https://doi.org/10.17741/bgsf/85.1.001>.

36. Late-glacial to Holocene aeolian deposition in north-eastern Europe — the timing of sedimentation at the Iisaku site (NE Estonia) / E. Kalińska-Nartiša [et al.] // Quaternary International. 2015. Vol. 357. P. 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.jquaint.2014.08.039>.

37. Molodkov A., Bitinas A. Sedimentary record and luminescence chronology of the Lateglacial and Holocene aeolian sediments in Lithuania // Boreas. 2006. Vol. 35, no. 2. P. 244–254. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2006.tb01154.x>.

## REFERENCES

1. Atlas of geological and environmental geological maps of the Russian area of the Baltic Sea / Ed. O. V. Petrov. St. Petersburg: VSEGEI; 2010. 77 p. (In Russ.).

2. Holocene sea-level changes and environmental history in the Narva area, north-eastern Estonia / A. Lepland [et al.]. *Coastal Estonia: Recent advances in environmental and cultural history* / Eds. T. Hackens [et al.]. Vol. 51. Rixensart: PACT Belgium; 1996. P. 313–358.

3. Mid-Holocene Littorina Sea transgressions based on stratigraphic studies in coastal lakes of NW Russia / P. Sandgren [et al.]. *GFF*. 2004; 126 (4): 363–380. <https://doi.org/10.1080/11035890401264363>.

4. Stone Age settlement and Holocene shore displacement in the Narva-Luga Klint Bay area, eastern Gulf of Finland / A. Rosentau [et al.]. *Boreas*. 2013; 42 (4): 912–931. <https://doi.org/10.1111/bor.12004>.

5. Tammekann A. The Baltic Glint. Part I. Morphography of the Glint. No. 24. Tartu, Estonia: Publicationes Instituti Universitatis Tartuensis Geographici; 1940. 103 p.

6. Kessel H. On the age of Holocene transgressions of the Baltic Sea in Estonia by palynological analysis. *Baltica*. 1963; 1: 101–115.

7. Kessel H. Ya., Raukas A. V. Coastal deposits of the Ancylus Lake and the Littorina Sea in Estonia. Tallinn: Publ. House Valgus; 1967. 134 p. (In Russ.).

8. Martin E., Schwartz M. Geomorphic evolution of the Narva-Luga coast, USSR. *Shore Beach*. 1991; 59 (2): 28–32.

9. Markov K. K. Development of the relief of the north-western part of the Leningrad region. Vol. 1. Moscow; Leningrad: Geol. Publ. House; 1931. 26 p. (In Russ.).
10. Sammet E. Yu., Shmaenok A. I. Geological map of the USSR, scale of 1 : 200,000. Ilmen series. Sheet O-35-V. Explanatory note. Moscow: Publ. House "Nedra"; 1980. 106 p. (In Russ.).
11. Orvikenko N. V., Barkov L. K., Usenkov S. M. Lithology and lithodynamics of modern sediments in the eastern part of the Gulf of Finland. Leningrad: Leningrad State Univ. Publ. House; 1988. 144 p. (In Russ.).
12. Orviku K., Granö O. Contemporary coasts: Geology of the Gulf of Finland / Eds. A. Raukas, H. Hyvärinen. Tallinn; 1992. P. 219–238. (In Russ.).
13. Stone Age research in the Narva-Luga Klint Bay area in 2005–2014 / A. Kriiska [et al.]. *New Sites, New Methods: Proc. of the Finn.-Russ. Archaeol. Symp., Helsinki, 19–21 Nov. 2014* / Eds. P. Uino, K. Nordqvist. Vol. 21. Helsinki: Waasa Graphics Oy; 2016. P. 101–115.
14. Late Mesolithic Narva stage in Estonia: Pottery, settlement types and chronology / A. Kriiska [et al.]. *Estonian Journal of Archaeology*. 2017; 21 (1): 52–86. <https://doi.org/10.3176/arch.2017.1.03>.
15. New data on the postglacial development of Narva-Luga Klint Bay (Eastern Gulf of Finland): Results of geoarchaeological research / D. V. Ryabchuk [et al.]. *J Coast Conserv.* 2019; 23: 727–746. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0670-5>.
16. Stone Age monuments of the Russian part of the Narva-Luga Interfluvium / Publ. Ed. D. V. Gerasimov. St. Petersburg: MAE RAS; 2019. 199 p. (In Russ.).
17. Geology of Quaternary deposits of the northwest of the European part of the USSR / Eds. N. I. Apukhtin, I. I. Krasnov. Leningrad: Publ. House "Nedra"; 1967. 344 p. (In Russ.).
18. Romanovsky S. I. Sedimentological foundations of lithology. Leningrad: Publ. House "Nedra"; 1977. 408 p. (In Russ.).
19. Rozhkov G. F. Geological interpretation of granulometric parameters based on fractional sieve analysis. *Granulometric analysis in geology*. Moscow; 1978. P. 5–25. (In Russ.).
20. Kotelnikov B. N. Reconstruction of the genesis of sands: Granulometric composition and analysis of empirical distribution polygons / Ed. V. N. Shvanov. Leningrad: Leningrad Univ. Publ. House; 1989. 132 p. (In Russ.).
21. Durcan J. A., King G. E., Duller G. A. T. DRAC: Dose rate and age calculator for trapped charge dating. *Quaternary Geochronology*. 2015; 28: 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2015.03.012>.
22. Holocene evolution of the irregularly sinking Baltic Sea coast and the interactions of the sea-level rise, accumulation space and sediment supply / R. Lampet [et al.]. *Bericht der Römisch-Deutschen Kommission* / Eds. J. Harff, F. Luth. 2007; 88: 14–46.
23. Harff J., Meyer M. Coastlines of the Baltic Sea — zones of competition between geological processes and a changing climate: Examples from the Southern Baltic. *The Baltic Sea basin. Central and Eastern European development studies (CEEDES)* / Eds. J. Harff S, Björck, P. Hoth. Berlin, Heidelberg: Springer; 2011. P. 149–164. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-17220-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-17220-5_7).
24. Interpreting monitoring data for shoreline and geohazard mapping / A. Colenutt [et al.]. *Maritime Engineering*. 2015; 168 (3): 118–124. <https://doi.org/10.1680/jmaen.15.00018>.
25. Palaeoenvironment of the Karelian Isthmus, the easternmost part of the Gulf of Finland, during the Litorina Sea stage of the Baltic Sea history / A. Miettinen [et al.]. *Boreas*. 2007; 36 (4): 441–458. <https://doi.org/10.1080/03009480701259284>.
26. Zenkovich V. P. Fundamentals of the theory of development of sea coasts. Moscow: Publ. House of the USSR Acad. of Sci.; 1962. 710 p. (In Russ.).
27. Development of the coastal systems of the easternmost Gulf of Finland, and their links with Neolithic-Bronze and Iron Age settlements / D. Ryabchuk [et al.]. *Geology and archaeology: Submerged landscapes of the continental shelf* / Eds. J. Harff, G. Bailey, F. Luth. Vol. 411. London: Geological Society; 2016. P. 51–76. <https://doi.org/10.1144/SP411.5>.
28. Tercier P., Knight R., Jol H. A comparison of the correlation structure in GPR images of deltaic and barrier-spit depositional environments. *Geophysics*. 2000; 65 (4): 1142–1153. <https://doi.org/10.1190/1.1444807>.
29. Uścińowicz S. Relative sea level changes, glacio-isostatic rebound and shoreline displacement in the Southern Baltic. *Polish Geological Institute Special Papers*. Vol. 10. Warsaw; 2003. P. 1–79.
30. Heinz J., Aigner Th. Hierarchical dynamic stratigraphy in various Quaternary gravel deposits, Rhine glacier area (SW Germany): Implications for hydrostratigraphy. *Int. J. Earth. Sci. (Geol. Rundsch)*. 2003; 92: 923–938. <https://doi.org/10.1007/s00531-003-0359-2>.
31. Sokołowski R. J. Middle and Late Pleistocene fluvial to glacio-deltaic succession in the Mrzezino site, northern Poland. *Quaternary geology of north-central Poland: From the Baltic coast to the LGM limit* / Eds. R. Sokołowski, D. Moskałewicz. Gdynia, Poland: Faculty of Oceanography and Geography, University of Gdańsk; 2016. P. 35–52.
32. Upslope-migrating bedforms in a proglacial Sandur Delta: Cyclic steps from river-derived underflows? / P. Dietrich [et al.]. *Journal of Sedimentary Research*. 2016; 86 (1): 112–122. <https://doi.org/10.2110/jsr.2016.4>.
33. Gilbert G. K. The topographic features of lake shores. *U. S. Geological survey. 5th annual report*. Washington; 1885. P. 69–123.
34. Gobo K., Ghinassi M., Nemeč W. Gilbert-type deltas recording short-term base-level changes: Delta-brink morphodynamics and related foreset facies. *Sedimentology*. 2015; 62 (7): 1923–1949. <https://doi.org/10.1111/sed.12212>.
35. Vassiljev J., Saarse L. Timing of the Baltic Ice Lake in the eastern Baltic. *Bulletin of the Geological Society of Finland*. 2013; 85: 9–18. <https://doi.org/10.17741/bgsf/85.1.001>.
36. Late-glacial to Holocene aeolian deposition in north-eastern Europe — the timing of sedimentation at the Iisaku site (NE Estonia) / E. Kalińska-Nartiša [et al.]. *Quaternary International*. 2015; 357. P. 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.08.039>.
37. Molodkov A., Bitinas A. Sedimentary record and luminescence chronology of the Lateglacial and Holocene aeolian sediments in Lithuania. *Boreas*. 2006; 35 (2): 244–254. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2006.tb01154.x>.

## Александр Юрьевич Сергеев

Кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник

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

<http://orcid.org/0000-0002-8035-6116>  
Scopus Author ID 57207727876  
ResearcherID E-3962-2017  
SPIN-код РИНЦ 3522-5253  
AuthorID РИНЦ 881607  
Alexander\_Sergeev@karpinskyinstitute.ru

## Дарья Владимировна Рябчук

Кандидат геолого-минералогических наук,  
начальник отдела

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

<http://orcid.org/0000-0003-2266-8688>  
Scopus Author ID 23478132400  
ResearcherID K-7372-2012  
SPIN-код РИНЦ 6655-6905  
AuthorID РИНЦ 155952  
Daria\_Ryabchuk@mail.ru

## Ольга Анатольевна Ковалева

Заместитель генерального директора  
по международной деятельности

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

<https://orcid.org/0000-0002-9258-815X>  
Scopus Author ID 56708299700  
ResearcherID AAN-5719-2020  
SPIN-код РИНЦ 8278-1361  
AuthorID РИНЦ 746529  
Olga\_Kovaleva@karpinskyinstitute.ru

## Леонид Михайлович Буданов

Кандидат географических наук, научный сотрудник

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

<https://orcid.org/0000-0003-2578-3374>  
Scopus Author ID 5 57195337053  
ResearcherID E-3946-2017  
SPIN-код РИНЦ 1026-3007  
AuthorID РИНЦ 918305  
Leonid\_Budanov@karpinskyinstitute.ru

## Владимир Александрович Жамойда

Кандидат геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник

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

<http://orcid.org/0000-0002-2390-0613>  
Scopus Author ID 6602868529  
ResearcherID B-5957-2016  
SPIN-код РИНЦ 5437-8545  
AuthorID РИНЦ 155951  
vladimir\_zhamoida@karpinskyinstitute.ru

## Alexander Yu. Sergeev

PhD (Geology and Mineralogy),  
Senior Researcher

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

<http://orcid.org/0000-0002-8035-6116>  
Scopus Author ID 57207727876  
ResearcherID E-3962-2017  
RSCI SPIN-code 3522-5253  
RSCI AuthorID 881607  
Alexander\_Sergeev@karpinskyinstitute.ru

## Daria V. Ryabchuk

PhD (Geology and Mineralogy),  
Head of Department

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

<http://orcid.org/0000-0003-2266-8688>  
Scopus Author ID 23478132400  
ResearcherID K-7372-2012  
RSCI SPIN-code 6655-6905  
RSCI AuthorID 155952  
Daria\_Ryabchuk@mail.ru

## Olga A. Kovaleva

Deputy General Director  
for International Affairs

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

<https://orcid.org/0000-0002-9258-815X>  
Scopus Author ID 56708299700  
ResearcherID AAN-5719-2020  
RSCI SPIN-code 8278-1361  
RSCI AuthorID 746529  
Olga\_Kovaleva@karpinskyinstitute.ru

## Leonid M. Budanov

PhD (Geography), Researcher

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

<https://orcid.org/0000-0003-2578-3374>  
Scopus Author ID 5 57195337053  
ResearcherID E-3946-2017  
RSCI SPIN-code 1026-3007  
RSCI AuthorID 918305  
Leonid\_Budanov@karpinskyinstitute.ru

## Vladimir A. Zhamoida

PhD (Geology and Mineralogy),  
Leading Researcher

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

<http://orcid.org/0000-0002-2390-0613>  
Scopus Author ID 6602868529  
ResearcherID B-5957-2016  
RSCI SPIN-code 5437-8545  
RSCI AuthorID 155951  
vladimir\_zhamoida@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

<https://orcid.org/0009-0002-4647-1054>  
Scopus Author ID 57194335576  
ResearcherID E-4899-2017  
SPIN-код РИНЦ 9345-5593  
AuthorID РИНЦ 1068477  
igor\_neevin@karpinskyinstitute.ru

## Дмитрий Владимирович Герасимов

Кандидат исторических наук,  
научный сотрудник

Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого  
(Кунсткамера) Российской академии наук,  
Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-3195-3715>  
Scopus Author ID 57057330300  
ResearcherID AAD-3237-2019  
SPIN-код РИНЦ 6476-7503  
AuthorID РИНЦ 125663  
dger@kunstkamera.ru

## Igor A. Neevin

Acting Head, Center for Marine Geology,  
Lithogeodynamics and Minerageny of Sedimentary Basins

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

<https://orcid.org/0009-0002-4647-1054>  
Scopus Author ID 57194335576  
ResearcherID E-4899-2017  
RSCI SPIN-code 9345-5593  
RSCI AuthorID 1068477  
igor\_neevin@karpinskyinstitute.ru

## Dmitry V. Gerasimov

PhD (History),  
Researcher

Peter the Great Museum  
of Anthropology and Ethnography (the Kunstkamera),  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-3195-3715>  
Scopus Author ID 57057330300  
ResearcherID AAD-3237-2019  
RSCI SPIN-code 6476-7503  
RSCI AuthorID 125663  
dger@kunstkamera.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 14.02.2025  
Одобрена после рецензирования 26.03.2025  
Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 14.02.2025  
Approved after reviewing 26.03.2025  
Accepted for publication 20.06.2025

Научная статья

УДК 550.93:552.3/.4"616"(571.56)

doi:10.52349/0869-7892\_2025\_102\_44-61

**Новые данные о возрасте и сохранности архейского блока фундамента под Накынским кимберлитовым полем, Республика Саха (Якутия)****М. Н. Голобурдина<sup>1</sup>✉, С. А. Граханов<sup>1, 2</sup>,  
А. И. Дак<sup>3</sup>, Т. Н. Зубова<sup>1</sup>,  
В. Г. Мальковец<sup>3, 4</sup>, В. Ф. Проскурнин<sup>1</sup>,  
А. В. Тарасов<sup>5</sup>**<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия, Marina\_Goloburdina@karpinskyinstitute.ru✉<sup>2</sup>АЛМАР — алмазы Арктики, Якутск, Россия<sup>3</sup>Акционерная компания «АЛРОСА», Мирный, Россия<sup>4</sup>Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия<sup>5</sup>Федеральное агентство по недропользованию, Москва, Россия**Ключевые слова:** Тюнгский террейн, Восточно-Сибирская алмазоносная провинция, мегакристаллы циркона, U-Pb возраст, SIMS SHRIMP-II, микроэлементы, алмазоносность**Финансирование:** отбор и первичное изучение коллекции кристаллов циркона проводились за счет средств гранта РНФ № 22-27-00724.**Для цитирования:** Новые данные о возрасте и сохранности архейского блока фундамента под Накынским кимберлитовым полем, Республика Саха (Якутия) / М. Н. Голобурдина [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 44–61. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_44-61](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_44-61)

**Аннотация.** Установлен архейский ( $2643 \pm 43$  млн лет) и протерозойский ( $1804 \pm 15$  млн лет) возраст мегакристаллов циркона из кимберлитов тр. Нюрбинская, рассмотрены их типоморфные особенности. Для архейской популяции циркона характерно отсутствие позднекарельских возрастных зон, повышенные содержания иттрия ( $Y > 100$  г/т), редкоземельных элементов ( $\Sigma P3Э > 100$  г/т;  $Lu/Gd > 1$ ) относительно раннепротерозойской популяции циркона ( $Y < 100$  г/т;  $\Sigma P3Э < 50$  г/т;  $Lu/Gd < 1$ ). Полученные данные свидетельствуют о принадлежности исследованных кристаллов к метаморфическим породам, образующим отдельные совмещенные разновозрастные блоки или метаморфические зоны, что указывает на сохранность архейских пород. Приведены сведения о деформациях в кристаллах, которые могут представлять собой морфологические признаки внедрения глубинного расплава. Получены новые доказательства сохранности архейского блока фундамента Тюнгского террейна, подтверждающие правило Клиффорда-Дженса: промышленно алмазоносные кимберлитовые тела Накынского поля расположены в пределах архейского блока. Наличие позднекарельских краевых зон на архейских цирконах из ксенолитов фундамента из алмазоносных кимберлитов Центрально-Сибирской алмазоносной субпровинции свидетельствует о неравномерном масштабном тектоно-термальном преобразовании фундамента Тюнгского террейна в период 1,8–2,1 млрд лет, вероятно влияющем на продуктивность кимберлитовых полей либо месторождений.

Original article

UDC 550.93:552.3/.4"616"(571.56)

doi:10.52349/0869-7892\_2025\_102\_44-61



© М. Н. Голобурдина, С. А. Граханов, А. И. Дак, Т. Н. Зубова, В. Г. Мальковец, В. Ф. Проскурнин, А. В. Тарасов, 2025

**New data on the age and preservation of the Archean basement block under the Nakyn kimberlite field, Republic of Sakha (Yakutia)****M. N. Goloburdina<sup>1</sup>✉, S. A. Grakhanov<sup>1, 2</sup>,  
A. I. Dak<sup>3</sup>, T. N. Zubova<sup>1</sup>,  
V. G. Malkovets<sup>3, 4</sup>, V. F. Proskurnin<sup>1</sup>,  
A. V. Tarasov<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia, Marina\_Goloburdina@karpinskyinstitute.ru   
<sup>2</sup>ALMAR — diamonds of the Arctic, Yakutsk, Russia  
<sup>3</sup>ALROSA, Mirny, Russia  
<sup>4</sup>V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia  
<sup>5</sup>Federal Subsoil Resources Management Agency, Moscow, Russia

**Keywords:** *Tyung terrane, East Siberian diamond-bearing province, zircon megacrystals, U-Pb age, SIMS SHRIMP-II, trace elements, diamond potential*

**Funding:** the Russian Science Fund (grant no. 22-27-00724) supported selection and primary study of zircon crystals.

**For citation:** New data on the age and preservation of the Archean basement block under the Nakyn kimberlite field, Republic of Sakha (Yakutia) / M. N. Goloburdina [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (2): 44–61. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_44-61](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_44-61)

**Abstract.** The paper establishes the Archean ( $2643 \pm 43$  Ma) and Proterozoic ( $1804 \pm 15$  Ma) ages of zircon megacrystals from the Nyurba kimberlite pipe, as well as analyzes their typomorphic features. The Archean zircons are characterized by the lacking Late Karelian overgrowth zones, elevated concentrations of yttrium ( $Y > 100$  ppm), rare earth elements ( $\Sigma REE > 100$  ppm), and heavy rare earth elements ( $Lu/Gd > 1$ ) compared to the Late Proterozoic zircons ( $Y < 100$  ppm;  $\Sigma REE < 50$  ppm;  $Lu/Gd < 1$ ). The obtained data suggest that these zircons originate from metamorphic rock units located in separate blocks or metamorphic zones, which indicates preservation of the Archean formations. The study evidences deformation in zircon crystals, which may serve as key morphological markers of deep-seated melt emplacement. Novel findings confirm preservation of the Archean block of the Tyung terrane basement, which support the Clifford-Janse rule: commercial diamondiferous kimberlite bodies of the Nakyn field are confined within the Archean block. The presence of the Late Karelian overgrowths on the Archean zircons from the xenolith basement of diamondiferous kimberlites in the Central Siberian diamond-bearing province demonstrates a large-scale uneven tectono-thermal transformation of the Tyung terrane for 1.8–2.1 Ga, which should influence the productivity of kimberlite fields or individual deposits.

## ВВЕДЕНИЕ

Возраст фундамента является важным фактом при реконструкции истории формирования геоблоков земной коры, контролирующими различные минералогические провинции и субпровинции. Тектонические критерии в ряду прогнозно-поисковых факторов коренных месторождений алмазов занимают одно из ведущих мест [1–16].

При прогнозировании таксономических единиц ранга субпровинция и район наиболее часто используется «правило Т. Клиффорда», в 1966 г. предложившего оригинальную гипотезу [11], о том что промышленные месторождения алмазов приурочены к древним кратонам, стабильным в течение последних  $1800 \pm 250$  млн лет, а непродуктивные кимберлиты находятся и в областях более молодых платформ. Позднее А. Дженс, после анализа распределения коренных месторождений алмазов мира, усовершенствовал данное правило, введя понятия «архонов» (архейских кратонов, породы которых испытали последние деформации и метаморфизм не позднее 2,4 млрд лет назад), «протонов» (кратонов в диапазоне 1,8–2,4 млрд лет) и «тектонов» (более молодых кратонов) [12; 13], и заключил, что промышленные кимберлиты встречаются исключительно на архонах. Именно эта точка зрения доминирует среди российских специалистов-алмазников как «правило Клиффорда», хотя сам автор под стабильными блоками подразумевал архейские и раннепротерозойские кратоны, не испытавшие масштабную активизацию позднее 1,8 млрд лет.

В работе Н. А. Божко [14; 15], где рассмотрены тектонические обстановки проявления алмазоносного кимберлитового магматизма, противоречащие

правилу Т. Клиффорда, подтверждается, что архейский кратон является важнейшим элементом и тектоническим критерием алмазоносности, поскольку под ним создаются наиболее благоприятные условия для кристаллизации и сохранности алмаза, о чем свидетельствуют геотермические построения, указывающие на наличие под архейскими кратонами области пород с аномальными свойствами, так называемыми «алмазоносными мантийными корнями», ограниченными по вертикали графит-алмаз — литосфера-астеносфера [16]. Исследователь также отмечает, что отсутствует теория локализации алмазоносных кимберлитовых полей внутри архонов и пока не объясним различный уровень их промышленной алмазоносности, неясно влияние степени переработки архейских кратонов на первоначальный алмазный потенциал и не установлено, коррелирует ли возрастание алмазоносности коренных тел с удревнением фундамента.

В пределах Сибирской платформы все коренные месторождения алмазов расположены в границах архонов и, частично, протонов: Мирнинское поле (трубки Мир, Интернациональная, им. XXIII Партсъезда, Дачная) на Магано-Вилойском архейском кратоне (террейне по А. П. Смелову и др., 2001); Алакит-Мархинское (трубки Айхал, Сытыканская, Юбилейная, Комсомольская), Далдынское (трубки Удачная, Зарница), Верхне-Мунское (трубки Заполярная, Новинка, Поисковая, Комсомольская-Магнитная) и Накыньское поля (трубки Нюрбинская, Ботубинская, дайка Майская) на Тюнгском архейско-раннепротерозойском террейне [8]. Любопытно, что в пределах мобильного (орогенного) Хапчанского пояса, который по правилу Клиффорда-Дженса расположен в пределах протона с возрастом 1,9–2,1 млрд лет

[8; 17], даже в единой Далдыно-Оленёкской минералогической зоне, контролирующей промышленную алмазоносность Алакит-Мархинского, Далдынского и Верхне-Мунского полей, нет ни одного потенциально промышленного коренного месторождения алмазов. Данный факт косвенно свидетельствует о влиянии на алмазоносность раннепротерозойских тектоно-термальных процессов, проходивших при формировании фундамента.

Поскольку Тунгский террейн включает большую часть различных по алмазоносности кимберлитовых полей, а в настоящее время опубликован многочисленный материал по детальным исследованиям циркона из ксенолитов фундамента этого террейна из алмазоносных кимберлитов, то предлагается с учетом новых данных по циркону из тр. Нюрбинская рассмотреть возможную корреляцию алмазоносности кимберлитов с возрастом и степенью перекристаллизации нижней коры в пределах названной территории.

В рамках изучения кимберлитового циркона в ФГБУ «Институт Карпинского» для исследования были выбраны мегакристаллы из кимберлитов тр. Нюрбинская, по размеру сопоставимые с кимберлитовыми, но имеющие различную морфологию, в том числе преобладающую ксеноморфную. Представленная работа посвящена результатам U-Pb датирования и изотопно-геохимического исследования данных кристаллов, сопоставлению с ранее полученными возрастными и оценке взаимосвязи алмазоносности кимберлитов с тектоно-термальными раннепротерозойскими преобразованиями фундамента Тунгского террейна.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Коллекция кристаллов циркона из кимберлитов тр. Нюрбинская любезно предоставлена АК «АЛРОСА» (ПАО). Для исследования выбран 21 кристалл, различающийся по морфологии и цвету. Кристаллы были имплантированы в эпоксидную смолу с зернами цирконовых стандартов Temoga-2 и 91500 и шлифованы. Участки датирования определялись по оптическим и катодолюминесцентным изображениям.

U-Pb датирование и изотопно-геохимические измерения (REE + Y, Ti, Hf, U, Th) проведены на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ФГБУ «Институт Карпинского». Возрасты получены с использованием вторичного электронного умножителя в одноколлекторном режиме по методике [18], интенсивность первичного пучка ионов кислорода составляла 3 нА, диаметр пятна (кратера) — около 25 мкм. Полученные данные обработаны в программе Squid-1 [19]. U/Pb отношения нормализованы относительно стандартного циркона Temoga-2 с возрастом 416,8 млн лет [20]. Концентрации Pb, U и Th были получены с использованием стандарта циркона 91500 с содержанием урана 81,2 г/т [21].

Редкие (Ti, Y, Hf) и редкоземельные элементы измерялись методом количественного химического анализа [22] с интенсивностью первичного пучка 3–4 нА и диаметром аналитического кратера 25–30 мкм

в области датирования.  $^{91}\text{Zr}$  изотоп служил опорным пиком для нормализации измеренных изотопов относительно него. Вторичные положительно заряженные ионы направлялись с использованием ускоряющего напряжения 10 кВ в масс-спектрометр и регистрировались с помощью электронного умножителя в одноколлекторном режиме. Во время анализа накапливались три массовых спектра (повтора) следующих 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 ионного тока составляет: 60 с — для  $^{49}\text{Ti}$ , 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. Продолжительность анализа не превышает 40 мин. Полученные данные обрабатываются с помощью программы MS Excel. В результате регистрации парных изотопов для нескольких измеряемых элементов проводился дополнительный контроль качества анализа на основе степени их совпадения (с учетом величины природной распространённости). 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 качестве первичного стандарта концентрации применялось стекло SRM NIST-611.

В качестве эталонного (вторичного) стандарта использовался циркон 91500, контрольное измерение которого считалось приемлемым, если несоответствие не превышало 15 % [23–25].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследованные кристаллы циркона представлены полупрозрачными и непрозрачными субизоморфными, субпризматическими обломками и идиоморфными кристаллами молочно-белыми, розоватыми, желтоватыми и коричневатыми (рис. 1, а, 2). В пробе преобладает ксеноморфный циркон размером 2,8 × 3,5–3 × 5 мм с редко наблюдаемыми дипирамидально-призматическими гранями. Идиоморфным кристаллам характерны округлые многогранные формы и размеры 2,5 × 3–3 × 3 мм. В ультрафиолетовых лучах (365 нм) циркон проявляет желтоватое и рыжеватое свечение (рис. 1, б).

В катодолюминесценции кристаллы обладают умеренным и ярким свечением (рис. 2), обусловленным относительно низкими концентрациями U и Th. Для циркона типична едва заметная магматическая зональность, сопряженная с более проявленными элементами секториальности, и характерна интенсивная трещиноватость.

В зернах прослеживаются две системы деформаций (рис. 3): ранняя — линейные и извилистые серые залеченные микротрещины, образующие линейную либо сетчатую трещиноватость хаотичной степени сгущения; поздняя — отличается тем, что отчетливо нарушает раннюю систему трещин и маркируется незалеченными микрополостями. Таким образом, установлено, что исследованные кристаллы циркона испытали минимум две стадии деформаций, проходивших в различных условиях и, вероятно, в разное геологическое время.

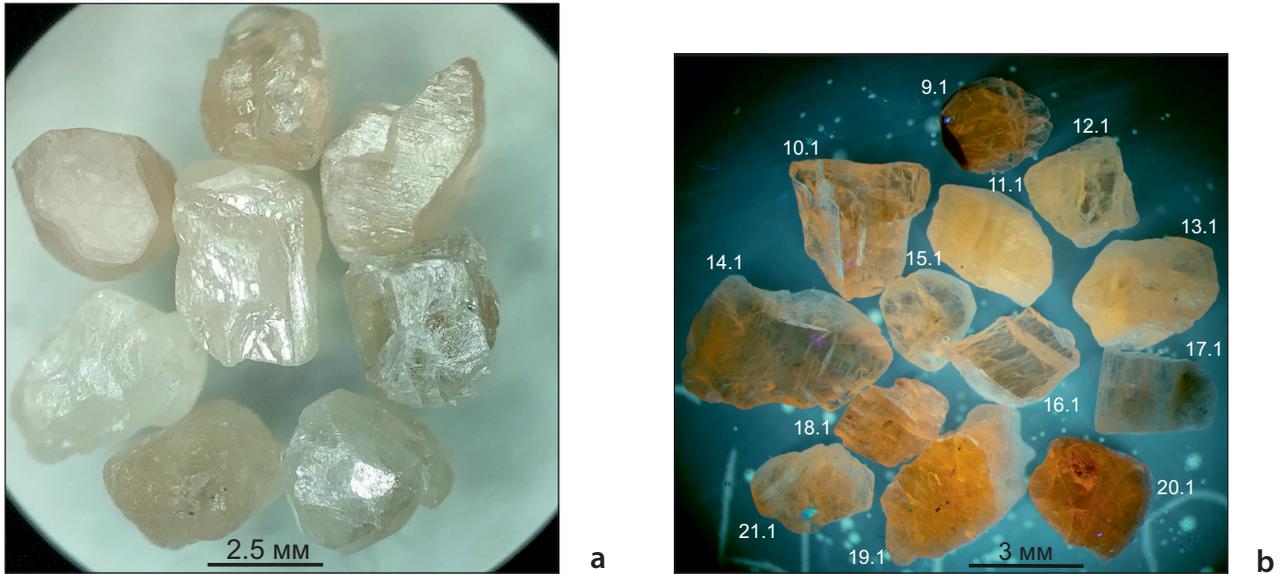


Рис. 1. Морфология (а) и особенности ультрафиолетового свечения (b) цирконов из кимберлитов тр. Нюрбинская  
Нумерация зерен на рис. b соответствует аналитическим данным в табл. 1 и 2

Fig. 1. Morphology (a) and ultraviolet features (b) of the Nyurba kimberlite pipe zircons  
Grain numbering in fig. b corresponds to the analytical data in tab. 1 and 2

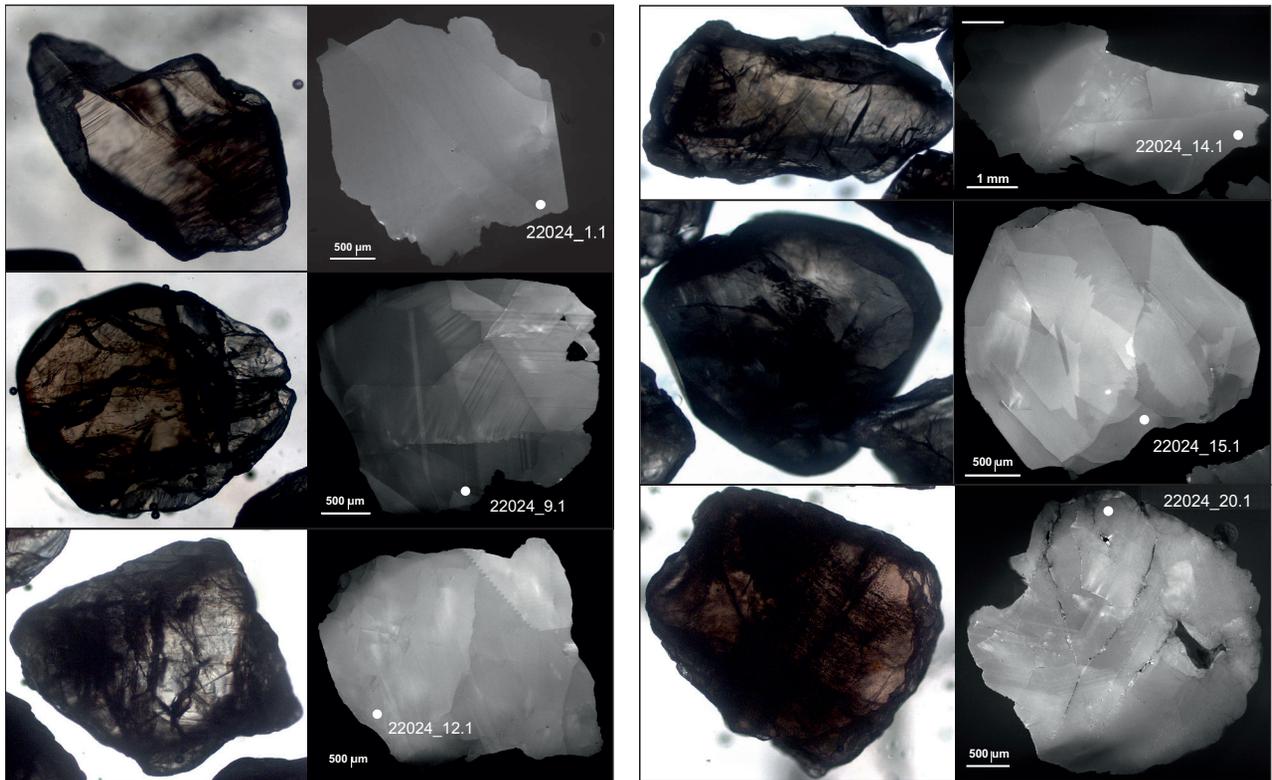


Рис. 2. Морфологические особенности цирконов из кимберлитов тр. Нюрбинская в проходящем свете и катодолуминесценции с точками датирования

Fig. 2. Morphological features of the Nyurba kimberlite pipe zircons in transmitted light and cathodoluminescence, with dating points included

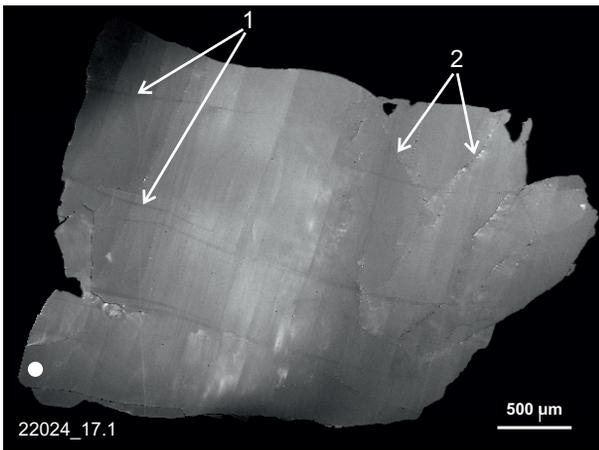


Рис. 3. Католюминесцентное изображение циркона из кимберлитов тр. Нюрбинская с двумя системами деформаций

1 — ранняя; 2 — поздняя

Fig. 3. Cathodoluminescence image of the Nyurbinskaya kimberlite pipe zircons with two deformation systems

1 — early; 2 — late

При датировании U-Pb методом остро стоит вопрос о возможном влиянии деформаций на первичную изотопную систему. Поскольку поздние деформации хорошо фиксируются в католюминесценции и их можно избежать, то определение залеченных деформационных элементов зависит от особенностей их распределения в кристалле, отличных содержаний U и Th и от качества снимков. В публикации [26] рассматривалось датирование подобных архейских кристаллов циркона из кимберлитов тр. Нюрбинская и подробно исследовались в них залеченные микротрещины, для которых было установлено отсутствие значимых отличий по составам Hf-изотопа, O-изотопа и микроэлементов от незатронутых деформациями блоков циркона, а их возраст соответствовал внедрению кимберлитового расплава ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  369–381 млн лет, SHRIMP-II).

В результате датирования U-Pb методом (SIMS SHRIMP-II) определена преобладающая в выборке популяция архейского циркона ( $n = 20$ ) с конкордантным возрастом в интервале позднего лопия 2508–2747 млн лет (рис. 4, *a, b*) и один кристалл с позднекарельским возрастом  $1804 \pm 15$  млн лет (табл. 1). В связи с отсутствием корреляции наиболее низких концентраций U и Th с определенными возрастными авторами учитывают все полученные архейские значения, и средневзвешенный возраст принимается в изотопной системе  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$   $2643 \pm 43$  млн лет с наименьшим показателем MSWD 5,5 относительно данного возраста  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  с MSWD 14 (рис. 4, *c, d*).

По микроэлементам архейские кристаллы циркона выделяются сравнительно низкими содержаниями редкоземельных и редких элементов (табл. 2, рис. 5). Для них характерны anomalously пониженные содержания Th (0,2–7 г/т) относительно U (2–24 г/т) и, соответственно, величины Th/U (0,08–0,56) отно-

шения (табл. 1). Для трех кристаллов отмечаются более высокие значения Th/U (0,6–0,91). Редкоземельные элементы в архейских кристаллах имеют дифференцированный спектр распределения с варьирующим суммарным содержанием ( $\Sigma\text{PЗЭ}$ ) от 120 до 214 г/т и отчетливые аномалии по Eu ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* 0,24\text{--}0,33$ ) и Ce ( $\text{Ce}/\text{Ce}^* 58\text{--}213$ ). Значение тяжелых редкоземельных элементов (HREE), представленное отношением Lu/Gb, соответствует уровню 1,28–1,97, количество Y варьирует от 511 до 921 г/т, значения гафния находятся в узком интервале 10 209–12 731 г/т.

Протерозойский циркон характеризуется более высокими концентрациями U (48 г/т) и Th (47 г/т), повышенным значением отношения Th/U (1,02), более низкими количествами  $\Sigma\text{PЗЭ}$  (42 г/т) и Y (46 г/т), отличными аномалиями по Eu ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* 0,55$ ) и Ce ( $\text{Ce}/\text{Ce}^* 16$ ). Значения HREE (Lu/Gd 0,34) выражены пологим спектром распределения, вероятно, обусловленным совместной кристаллизацией с гранатом [27].

По определенному количеству Ti в цирконе была оценена температура кристаллизации в интервале 763–907 °C для архейского и 749 °C для протерозойского циркона по Ti-термометру [28].

## ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время опубликованы многочисленные детальные исследования циркона и ксенолитов фундамента Тунгского террейна [30], включенных в кимберлиты Далдынского, Алаakit-Мархинского, Верхне-Мунского и Накынского полей, свидетельствующие об архейско-протерозойском возрасте фундамента (рис. 6, табл. 3). Не вдаваясь в подробности каждого исследования, можно отметить установленные в той или иной мере общие этапы формирования и тектоно-термальной переработки рассматриваемого фундамента [8; 10; 26; 30–39], выделенные в три основных временных события [35]: раннеархейское (3,24–3,6 млрд лет), позднеархейское (2,5–2,9 млрд лет) и раннепротерозойское (1,8–1,98 млрд лет). Также было заключено, что фундамент имеет вертикальную и латеральную гетерогенность и состоит из в разной степени преобразованных архейских и протерозойских пород [39].

Полученные в данной работе позднеархейские и раннепротерозойские возрасты циркона из фундамента под Накыским кимберлитовым полем согласуются с ранее приведенными значениями в публикациях [26; 33; 34; 36; 38], продемонстрированными в табл. 3. Следует отметить, что пока только под Накыским кимберлитовым полем определен неперекристаллизованный циркон с раннеархейским возрастом 3745 млн лет (U-Pb, LA-ICPMS) [26].

Полагая, что возраст нескольких метаморфических событий может быть запечатлен и определен в цирконе, то уровень преобразований породы в какой-то мере можно оценить по возрастным зонам в данном минерале. Результаты исследований показали, что позднеархейский циркон из кимберлитов тр. Нюрбинская не имеет протерозойских новообразованных зон и отличается от позднекарельского

циркона относительно высокими концентрациями иттрия, редкоземельных элементов и их спектром, Eu- и Ce-аномалиями, более высокой температурой кристаллизации, что в совокупности свидетельствует

о принадлежности этих кристаллов циркона к метаморфическим породам, явно залегающим в отдельных блоках или метаморфических зонах, и, соответственно, о сохранности архейских образований.

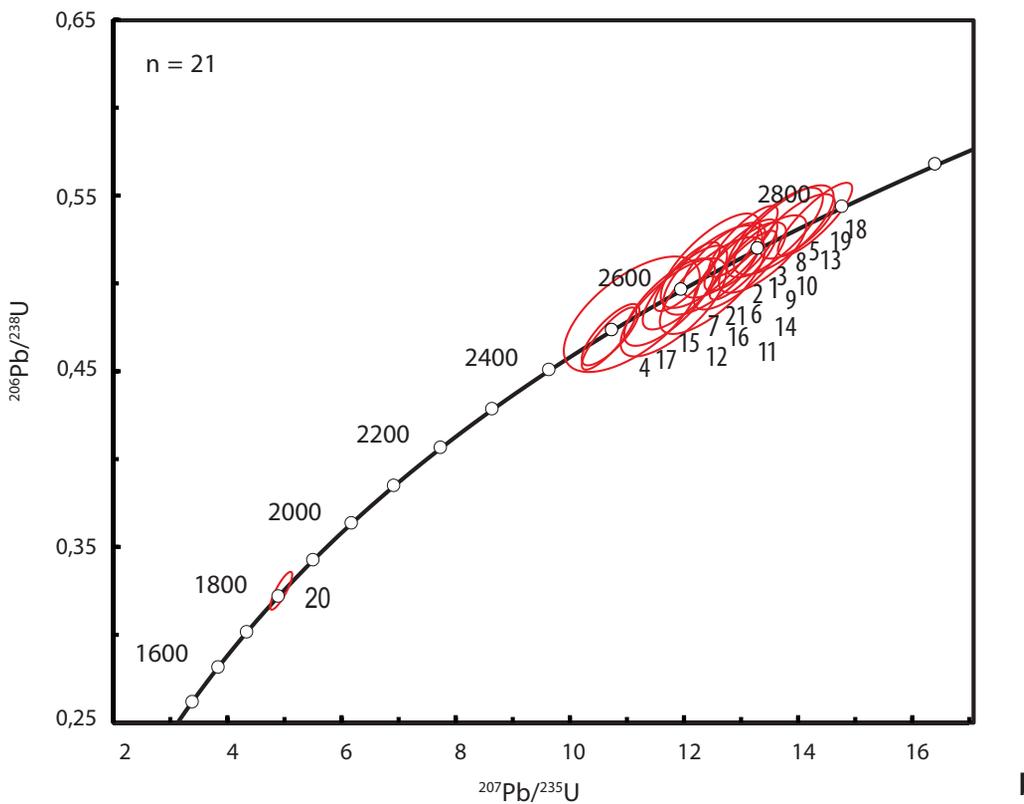
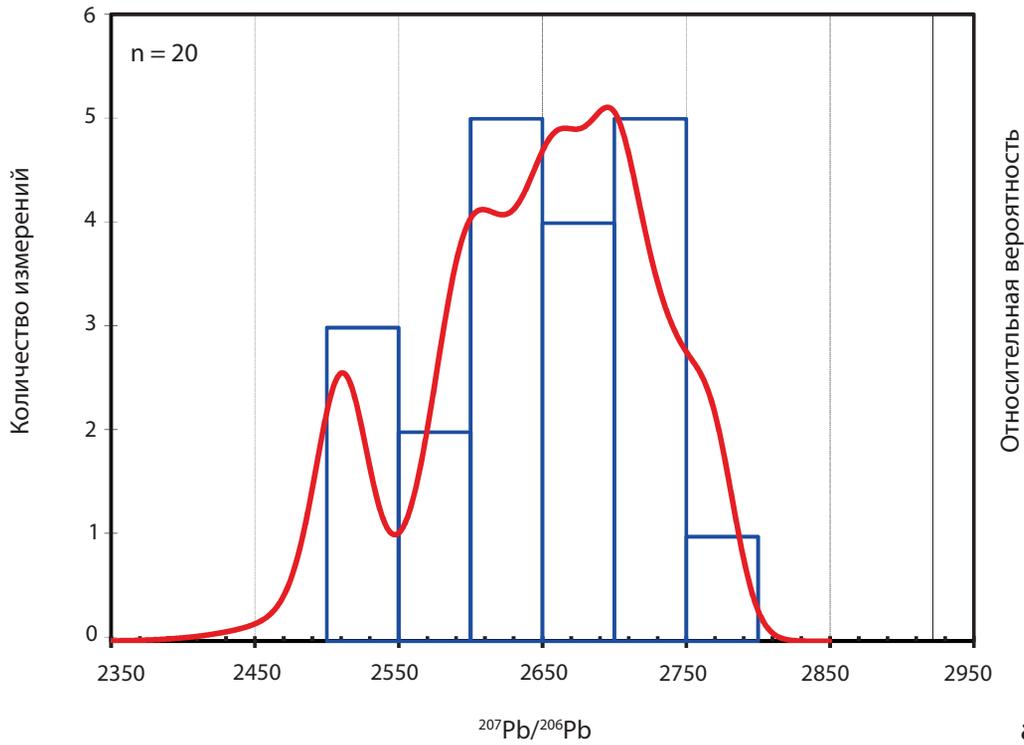


Рис. 4. Гистограмма значений  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  возраста (a), диаграмма с конкордией (b) и позднелопийский средневзвешенный возраст (c, d) для цирконов из кимберлитов тр. Нюрбинская

Отсутствие позднекарельских краевых зон в архейском цирконе фундамента из кимберлитовых трубок Нюрбинская и Ботуобинская прослеживается и по материалам предшественников [26; 34; 36;

38]. В работах приводится количество и распределение редкоземельных элементов, концентрации иттрия, сопоставимые с полученными данными для архейских ( $\Sigma\text{PЗЭ}$  132–2130 г/т; HREE (Lu/Gd) 0,94–6,5;

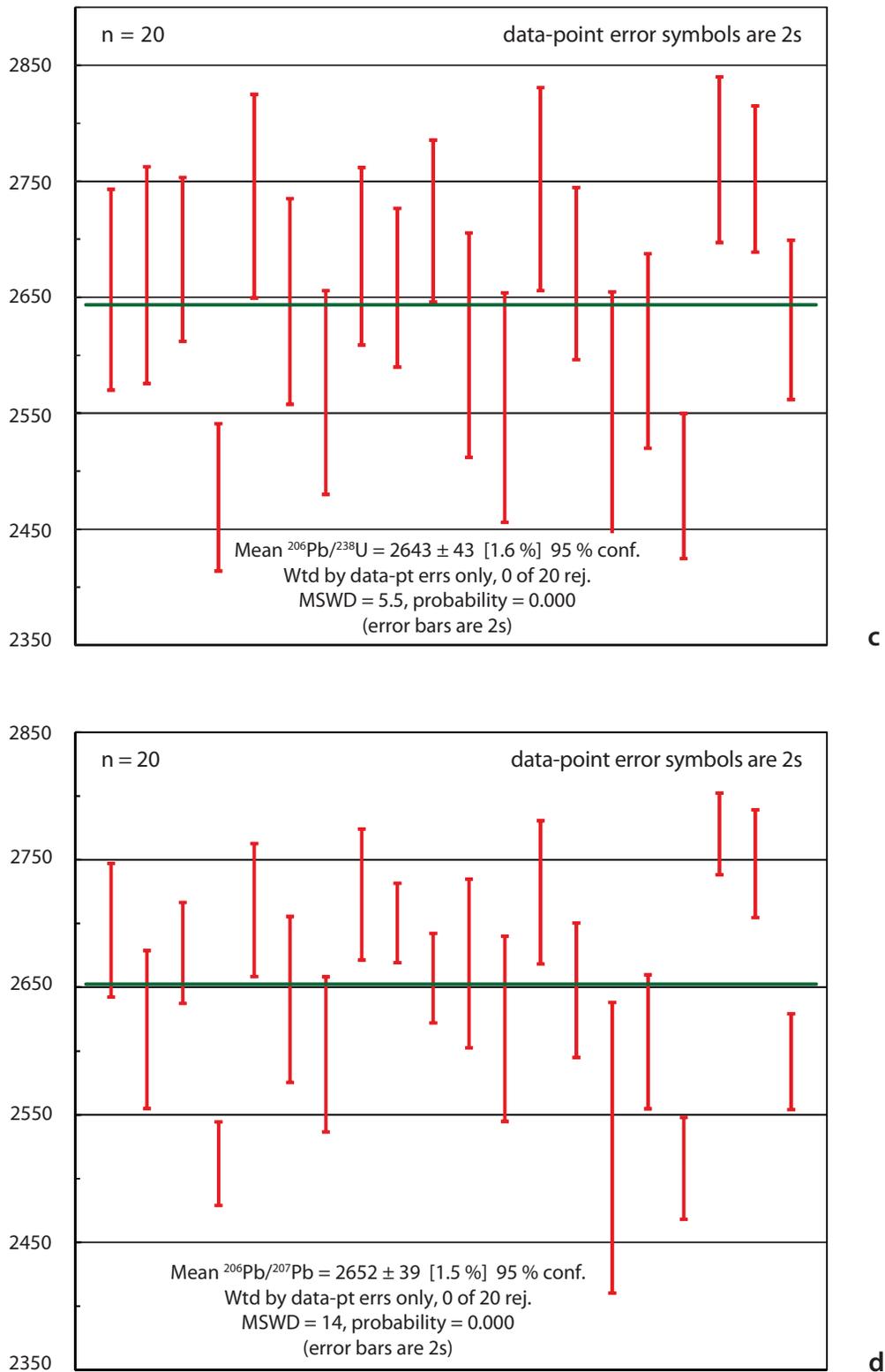


Fig. 4. Relative probability plot of  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  age values (a), concordia diagram (b), and Late Lopian weighted average age (c, d) for the Nyurba kimberlite pipe zircons

Таблица 1

## Результаты U–Pb (SIMS SRIMP-II) датирования цирконов из кимберлитов тр. Нюрбинская

Table 1. Results of U–Pb (SIMS SRIMP-II) dating of the Nyurba kimberlite pipe zircons

Номер точки анализа	$^{206}\text{Pb}_c$ %	U, г/г	Th, г/г	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$ , г/г	(1) Возраст $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , млн лет	(1) Возраст $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , млн лет	D, %	$\pm$ , %	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$ (1)	$\pm$ , %	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^*$ (1)	$\pm$ , %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (1)	$\pm$ , %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (1)	$\pm$ , %	Rho
1.1	0,22	7	4	0,56	3,27	2656 ± 43	2695 ± 26	1	1,4	1,961	2,0	0,1846	1,6	12,98	2,5	0,5100	2,0	0,782
2.1	0,27	6	2	0,42	2,66	2669 ± 47	2617 ± 31	-2	1,6	1,950	2,1	0,1761	1,9	12,46	2,8	0,5130	2,1	0,754
3.1	0,32	16	4	0,23	7,15	2683 ± 35	2677 ± 20	0	0,9	1,938	1,6	0,1826	1,2	13,00	2,0	0,5161	1,6	0,803
4.1	0,07	19	3	0,18	7,76	2477 ± 32	2512 ± 16	1	0,9	2,134	1,5	0,1654	0,9	10,69	1,8	0,4686	1,5	0,846
5.1	0,00	6	1	0,14	2,81	2737 ± 44	2711 ± 26	-1	1,6	1,891	2,0	0,1864	1,6	13,59	2,5	0,5290	2,0	0,780
6.1	0,29	5	2	0,48	2,29	2646 ± 44	2640 ± 33	0	1,7	1,970	2,0	0,1787	2,0	12,50	2,8	0,5080	2,0	0,722
7.1	0,00	5	1	0,13	2,09	2568 ± 44	2597 ± 30	1	1,8	2,044	2,1	0,1741	1,8	11,75	2,8	0,4890	2,1	0,751
8.1	0,25	10	1	0,08	4,23	2685 ± 38	2723 ± 26	1	1,3	1,935	1,7	0,1878	1,6	13,38	2,3	0,5167	1,7	0,746
9.1	0,06	18	4	0,24	8,02	2658 ± 34	2700 ± 16	2	0,9	1,959	1,6	0,1852	0,9	13,04	1,8	0,5104	1,6	0,857
10.1	0,00	13	2	0,15	5,95	2716 ± 35	2657 ± 18	-2	1,1	1,909	1,6	0,1805	1,1	13,04	1,9	0,5239	1,6	0,830
11.1	0,00	4	3	0,82	1,69	2609 ± 48	2669 ± 33	2	2,0	2,005	2,3	0,1817	2,0	12,50	3,0	0,4990	2,3	0,749
12.1	0,35	5	2	0,52	2,03	2555 ± 49	2617 ± 36	2	1,8	2,056	2,3	0,1762	2,2	11,82	3,2	0,4860	2,3	0,732
13.1	0,25	6	3	0,60	2,65	2743 ± 44	2724 ± 28	-1	1,5	1,885	2,0	0,1880	1,7	13,75	2,6	0,5300	2,0	0,754
14.1	0,34	10	3	0,30	4,34	2670 ± 37	2648 ± 26	-1	1,2	1,948	1,7	0,1794	1,6	12,70	2,3	0,5132	1,7	0,730
15.1	0,00	2	0,2	0,10	0,91	2538 ± 58	2524 ± 57	-1	3,4	2,073	2,8	0,1666	3,4	11,09	4,4	0,4820	2,8	0,634
16.1	0,21	8	2	0,31	3,29	2604 ± 42	2607 ± 26	0	1,4	2,010	2,0	0,1751	1,6	12,02	2,5	0,4976	2,0	0,779
17.1	0,22	17	7	0,46	6,71	2487 ± 31	2508 ± 20	1	1,0	2,124	1,5	0,1650	1,2	10,71	1,9	0,4708	1,5	0,787
18.1	0,11	16	15	0,91	7,59	2769 ± 36	2770 ± 16	0	0,9	1,864	1,6	0,1933	0,9	14,30	1,9	0,5364	1,6	0,852
19.1	0,06	24	5	0,20	11,0	2752 ± 32	2747 ± 21	0	1,3	1,878	1,4	0,1906	1,3	13,99	1,9	0,5325	1,4	0,738
20.1	0,00	48	47	1,02	13,4	1814 ± 21	1804 ± 15	-1	0,8	3,076	1,4	0,1102	0,8	4,942	1,6	0,3251	1,4	0,849
21.1	0,00	12	2	0,15	5,30	2630 ± 34	2592 ± 19	-1	1,1	1,985	1,6	0,1735	1,1	12,05	1,9	0,5039	1,6	0,816

Примечание.  $^{206}\text{Pb}_c$  и  $^{206}\text{Pb}^*$  — общий и радиогенный свинец. Погрешность калибровки стандарта 0,38 %. (1) — поправка на общий свинец проведена по измеренному  $^{204}\text{Pb}$ . Погрешности вычисленных возрастов приводятся на уровне  $2\sigma$ . D — коэффициент дискордантности  $100 \times (\text{возраст } ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})/(\text{возраст } ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1$ . Rho — коэффициент корреляции погрешностей отношений  $^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U} - ^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$

Note.  $^{206}\text{Pb}_c$  and  $^{206}\text{Pb}^*$  — common and radiogenic lead. Standard error of calibration 0.38 %. (1) — common lead correction for the measured  $^{204}\text{Pb}$ . The calculated age errors correspond to level  $2\sigma$ . D — discordance coefficient  $100 \times (\text{age } ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})/(\text{age } ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1$ . Rho — correlation coefficient of error ratios  $^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U} - ^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$

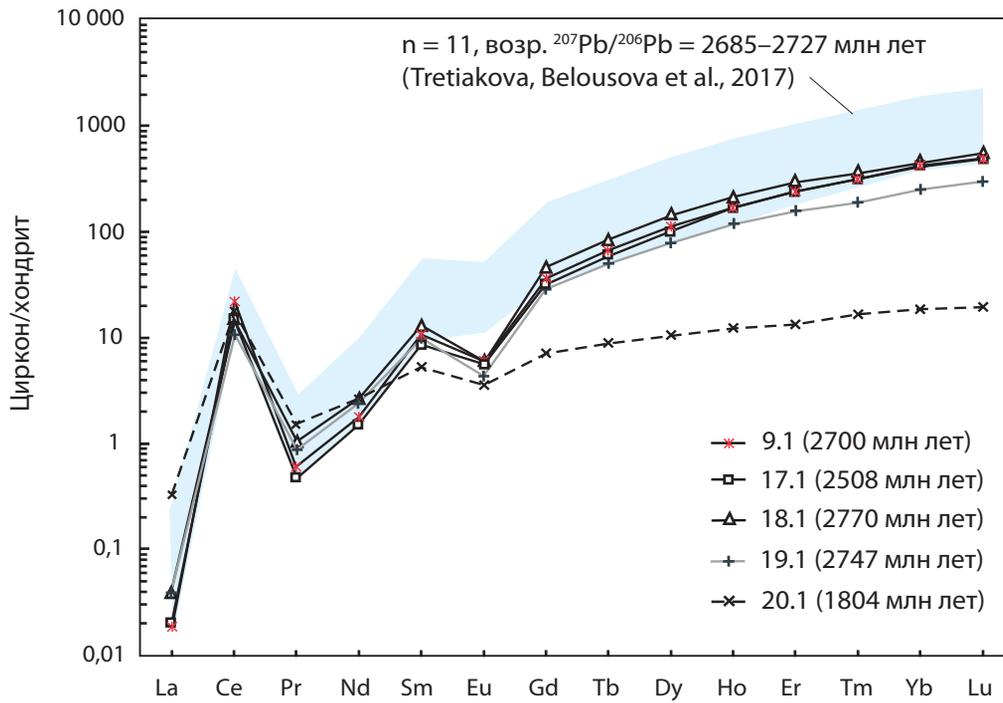


Рис. 5. Распределение редкоземельных элементов в цирконах из кимберлитов тр. Нюрбинская. Содержания нормированы на хондрит

Источник: по [29]

Fig. 5. Distribution of rare earth elements in the Nyurba kimberlite pipe zircons. Values normalized to chondrite

Source: from [29]

Таблица 2

**Концентрации микроэлементов (г/т) в цирконах из кимберлитов тр. Нюрбинская**

Table 2. Trace elements concentrations (ppm) in the Nyurba kimberlite pipe zircons

Компоненты	2024_9.1	22024_17.1	22024_18.1	22024_19.1	22024_20.1
La	0,011	0,012	0,024	0,023	0,196
Ce	20	14	14	10	16
Pr	0,11	0,09	0,19	0,16	0,28
Nd	1,47	1,24	2,2	1,97	2,2
Sm	3,0	2,5	3,7	2,8	1,49
Eu	0,62	0,57	0,60	0,44	0,36
Gd	13	11	17	10	2,6
Tb	4,6	4,1	5,9	3,4	0,61
Dy	53	47	67	36	4,9
Ho	19	18	23	13	1,34
Er	78	76	94	50	4,3
Tm	16	15	18	9,4	0,83
Yb	137	134	146	81	6,1
Lu	24	25	27	15	0,96

Компоненты	2024_9.1	22024_17.1	22024_18.1	22024_19.1	22024_20.1
Ti	13	13	51	41	11
Y	750	724	921	511	46
Hf	12731	10209	11554	10616	10528
Eu/Eu*	0,30	0,33	0,24	0,26	0,55
Ce/Ce*	213	152	72	58	16
Σ REE	190	179	214	120	42
Ti, Temp	763	765	907	882	749

Eu/Eu\* 0,36–0,7; Y 183–1562 г/т) и позднекарельских ( $\Sigma$ РЗЭ 15–46 г/т; HREE (Lu/Gd) 0,1–1,01; Eu/Eu\* 0,77–0,85; Y 22–75 г/т) кристаллов [26; 38]. По данным предшественников, архейский циркон характеризует возраст гранатовых и мафических гранулитов, амфиболитов-плагиоклазовых гнейсов, а позднекарельский циркон — гранатовых гранулитов [36; 38].

На основе обобщенного фактического материала (табл. 4) наблюдается тенденция в приуроченности Накынского и Верхне-Мунского алмазоносных полей с высоким процентом месторождений к блокам архейского фундамента, не испытавшим перекристал-

лизацию в позднем карелии, либо с ее следами, но которые могли быть сопряжены с блоками/зонами метаморфических образований, полностью переработанными в позднем карелии.

В свете тектонических построений на основе приведенного аналитического материала можно предложить две вероятные модели. Одна из моделей предполагает, что кимберлиты Накынского поля приурочены к зоне глубинных разломов, сопряженных с границей архейского и протерозойского блоков фундамента, обеспечивающей повышенную проницаемость и, соответственно, быстрый

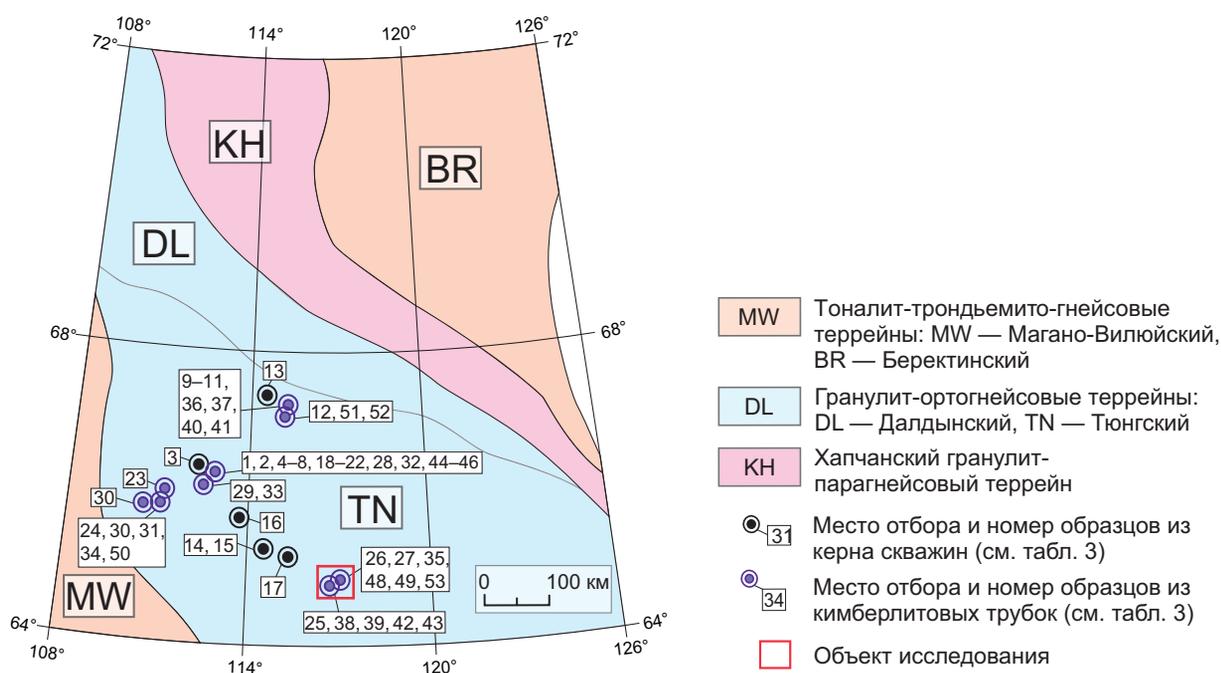


Рис. 6. Структура фундамента Восточно-Сибирской алмазоносной провинции

Источник: по [30]

Fig. 6. Basement structure of the East Siberian diamond-bearing province

Source: from [30]

**Результаты изотопного датирования пород фундамента из ксенолитов кимберлитовых трубок и керн скважин, ксенокристаллов циркона в пределах Тунгского террейна**

Table 3. Results of isotope dating of basement rocks from kimberlite and borehole core xenoliths, zircon xenocrystals within the Tyung terrane

Номер на рис. 6	Порода	Возраст, млн лет	Место отбора
А. П. Смелов и др., 2001 ( $T_{Nd}$ (DM)) [31]			
1	Гранат-клинопироксеновый амфиболит	2537	Трубка Удачная
2	Гранат-клинопироксеновый амфиболит	2488	Трубка Удачная
3	Гранат-клинопироксеновый амфиболит	2906	Удачинская скважина
4	Гранат-амфиболовый кристаллический сланец	2982	Трубка Удачная
5	Амфибол-клинопироксеновый кристаллический сланец	2109	Трубка Удачная
6	Амфиболит	3050	Трубка Удачная
7	Гранат-клинопироксеновый амфиболит	3072	Трубка Удачная
8	Биотит-амфиболовый плагиогнейс	3108	Трубка Удачная
9	Гранат-клинопироксеновый амфиболит	2907	Трубка Заполярная
10	Гранат-клинопироксеновый амфиболит	3129	Трубка Заполярная
11	Гранат-клинопироксеновый амфиболит	3286	Трубка Заполярная
12	Гранат-амфиболовый кристаллический сланец	2938	Трубка Новинка
13	Гнейс	3183	Бысытыхская скважина
14	Диоритогнейс	2848	Танхайская скважина
15	Гнейс	2653	Танхайская скважина
16	Гранит	2325	Сохолохская скважина
17	Гранитогнейс	2696	Онхойдохская скважина
М. Yu. Koreshkova et al., 2009 (U-Pb, SIMS SHRIMP-II) [32]			
18	Двупироксеновый гранатовый гранулит	1827–1866 1881 1939 2710–3150	Трубка Удачная
19	Амфиболсодержащий гранатовый гранулит	1831	Трубка Удачная
20	Гранатовый гранулит среднего состава	1824	Трубка Удачная
21	Гранатовый гранулит	1846 1900	Трубка Удачная
22	Кинцигит	1894 1936	Трубка Удачная
Н. В. Владыкин, Е. Н. Лепехина, 2009 (U-Pb, SIMS SHRIMP-II) [33]			
23	Кимберлиты	1887	Трубка Айхал
24	Кимберлиты	1874	Трубка Комсомольская
25	Кимберлиты	2224–2748	Трубка Ботуобинская
26	Кимберлиты	2425–2622	Трубка Нюрбинская
Z. V. Spetsius et al., 2011 (U-Pb, LA-ICPMS) [34]			
27	Кимберлиты	2700	Трубка Нюрбинская

Номер на рис. 6	Порода	Возраст, млн лет	Место отбора
V. S. Shatsky et al., 2016 (U-Pb, LA-ICPMS) [35]			
28	Гранатовый гранулит	1722–2530	Трубка Удачная
29	Гранатовый гранулит	1877–1986	Трубка Ленинградская
30	Гранатовый гранулит	1859	Трубка Юбилейная
31	Гранат-биотитовый гнейс	1793–2883	Трубка Комсомольская
V. S. Shatsky et al., 2016 (Hf, T <sub>DM</sub> <sup>o</sup> ) [35]			
32	Гранатовый гранулит Гранат-биотитовый гнейс	2500–3120	Трубка Удачная
33			Трубка Ленинградская
34			Трубка Комсомольская
I. G. Tretiakova et al., 2017 (U-Pb, LA-ICPMS) [26]			
35	Кимберлиты	2709 3745	Трубка Нюрбинская
V. S. Shatsky et al., 2018 (U-Pb, LA-ICPMS) [36]			
36	Гранат-пироксеновый гнейс	2711 2716	Трубка Заполярная
37	Двупироксеновый гранулит	2708	Трубка Заполярная
38	Мафический гранулит	2751	Трубка Ботуобинская
39	Гранатовый гранулит	2782	Трубка Ботуобинская
V. S. Shatsky et al., 2018 (Lu-Hf, T <sub>DM</sub> <sup>o</sup> ) [36]			
40	Гранат-пироксеновый гнейс	3200–3720	Трубка Заполярная
41	Двупироксеновый гранулит	3250–3710	Трубка Заполярная
42	Мафический гранулит	3120–3650	Трубка Ботуобинская
43	Гранатовый гранулит	3110–3420	Трубка Ботуобинская
V. S. Shatsky et al., 2019 (U–Pb, LA-ICPMS) [37]			
44	Двупироксеновый гранулит	1897 2000 2420–2866	Трубка Удачная
45	Метадиориты	1856 2503–2768	Трубка Удачная
46	Кварцевые метадиориты	2611	Трубка Удачная
47	Гранатовый гранулит	1836–1880 2567	Трубка Зарница
M. Koreshkova et al., 2021 (U-Pb, LA-ICPMS) [38]			
48	Гранатовый гранулит	1876 1848	Трубка Нюрбинская
49	Амфибол-биотит-плагиоклазовый гнейс	2758	Трубка Нюрбинская

Номер на рис. 6	Порода	Возраст, млн лет	Место отбора
50	Гранат-двупироксеновый гранулит	1656 1807 2039	Трубка Комсомольская
В. С. Шацкий и др., 2023 (U-Pb, LA-ICPMS) [39]			
51	Гранат-пироксеновый сланец	2607–2765	Трубка Новинка
52	Гранат-пироксеновый гнейс	2704 2680 1900	Трубка Новинка
U-Pb, SIMS SHRIMP-II выполнено в ЦИИ, ФГБУ «Институт Карпинского»			
53	Кимберлиты	1804 2643	Трубка Нюрбинская

Источник: по [26; 31–39]

Source: from [26; 31–39]

Таблица 4

**Промышленная алмазоносность кимберлитовых полей и возраст фундамента в пределах Тюнгского террейна**

Table 4. Commercial diamond potential of kimberlite fields and age of basement within the Tyung terrane

№ п/п	Количество кимберлитовых трубок / месторождений	Промышленная алмазоносность поля, % месторождений	U-Pb возраст цирконов из фундамента под кимберлитовыми полями, млн лет / наличие протерозойских краевых зон
<b>Накынское кимберлитовое поле</b>			
1	3 / Нюрбинская, Ботуобинская, Майская	100	3745 / отсутствуют; 2500–2782 / отсутствуют; 1804–1876
<b>Верхне-Мунское кимберлитовое поле</b>			
2	15 / Заполярная, Комсомольская-Магнитная, Поисковая, Новинка	33	2607–2765 / отсутствуют; 1900 (нижнее пересечение дискордии)
<b>Далдынское кимберлитовое поле</b>			
3	59 / Удачная, Зарница, Дальняя	5	2500–2866 / отмечаются; 1836–2000
<b>Алакит-Мархинское кимберлитовое поле</b>			
4	65 / Айхал, Юбилейная, Сытыканская, Комсомольская, Заря	8	1807–2039; 1656

Источник: по [26; 31–39]

Source: from [26; 31–39]

подъем кимберлитового расплава к поверхности, благоприятный для сохранности алмазов. Другая модель подразумевает, что под Накынским кимберлитовым полем на архейский блок надвинут блок раннепротерозойских кристаллических пород на

заклучительной стадии тектоно-термальной переработки около 1800 млн лет в момент возможной локальной континентальной коллизии. В данном случае реализовывался благоприятный структурный фактор алмазоносности — утолщение литосферы

и погружение кратонного «киля» в область образования и сохранения алмазов, т. е. в «алмазоносные мантийные корни», обеспечившие высокую алмазоносность всех кимберлитовых тел Накынского поля.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованные кристаллы циркона из кимберлитов тр. Нюрбинская имеют крупные размеры  $2,5 \times 3-3 \times 5$  мм и по этому признаку являются мегакристаллами. Проведенное U-Pb датирование (SIMS SHRIMP-II) показало их архейский (среднезв.  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{U}$   $2643 \pm 43$  млн лет по 20 кристаллам) и протерозойский ( $1804 \pm 15$  млн лет по 1 кристаллу) возраст. Установленные типоморфные особенности циркона в значительной мере соответствуют его образованию в условиях гранулитовой фации, отмечается лишь необычный для метаморфического циркона крупный размер, отражающий стабильные химические и термодинамические продолжительные условия кристаллизации. Уровень микропримесей в разновозрастных кристаллах циркона различается и с учетом данных предшественников может быть представлен в следующих значениях: для архейских типичны  $\Sigma\text{PЗЭ}$  120–2130 г/т, HREE (Lu/Gd) 0,94–6,5, Eu/Eu\* 0,24–0,7, Y 183–1562 г/т; позднекарельские характеризуются  $\Sigma\text{PЗЭ}$  15–46 г/т, HREE (Lu/Gd) 0,1–1,01, Eu/Eu\* 0,77–0,85; Y 22–75 г/т. Обобщенные данные свидетельствуют о принадлежности возрастных популяций циркона к архейским гранатовым и мафическим гранулитам, амфибол-биотит-плагиоклазовым гнейсам и позднекарельским гранатовым гранулитам, образующим отдельные блоки или метаморфические зоны в фундаменте, и, соответственно, о сохранности архейских образований под Накынским кимберлитовым полем.

Обнаруженные в кристаллах деформации в виде залеченных микротрещин с учетом исследовательской работы предшественников [26] представляют собой уникальные морфологические признаки внедрения глубинного расплава.

Промышленно алмазоносные кимберлитовые тела Накынского поля (трубки Нюрбинская, Ботубинская и Майская) расположены в пределах архейского стабильного блока — архона, что блестяще подтверждает правило Клиффорда-Дженса.

Присутствие позднекарельских краевых зон на архейских кристаллах циркона из алмазоносных кимберлитов Алакит-Мархинского и Далдынского полей свидетельствует о неравномерном масштабном тектоно-термальном преобразовании фундамента Тунгского террейна в период 1,8–2,1 млрд лет, вероятно влияющем на продуктивность месторождений.

Наличие наряду с промышленно алмазоносными телами Алакит-Мархинского, Далдынского и Верхне-Мунского полей множества убогалмазоносных кимберлитов и отсутствие месторождений в пределах Хапчанского протона свидетельствуют о том, что архейский фундамент Восточно-Сибирской алмазоносной провинции осложнен протерозойскими поясами, мощность и степень преобразования которых могли повлиять на продуктивность кимберлитовых полей либо месторождений.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сарсадских Н. Н. Структурный фактор размещения кимберлитов на Сибирской платформе и прогнозирование коренной алмазоносности // Прогнозирование и методы поисков месторождений никеля, олова и алмазов в Советской Арктике : материалы конф., Ленинград, 15–17 янв. 1969 г. Л., 1968. С. 72–76.
2. Масайтис В. Л., Михайлов М. В., Селивановская Т. В. Вулканизм и тектоника Патомско-Виллюйского среднепалеозойского авлакогена // Тр. ВСЕГЕИ. Новая сер. Т. 192. М. : Недра, 1975. 181 с.
3. Суворов В. Д. Глубинные сейсмические исследования в Якутской кимберлитовой провинции / отв. ред. С. В. Крылов. Новосибирск : Наука : Сиб. изд. фирма, 1993. 134 с.
4. Горев Н. И. Кимберлитоконтролирующие зоны северо-востока Сибирской платформы // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов : материалы науч.-практ. конф., Мирный, 24–28 марта 1998 г. Мирный : Мирнинская город. тип., 1998. С. 246–248.
5. Горев Н. И. Тектоническое районирование Сибирской платформы при прогнозировании коренных источников алмазов // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2001. С. 462–481.
6. Манаков А. В. Особенности строения литосферы Якутской кимберлитовой провинции. Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 1999. 58 с.
7. Манаков А. В. Технология выделения литосферного корня на основе интегрированного анализа геофизических данных // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2001. С. 270–277.
8. Смелов А. П., Тимофеев В. Ф. Террейновый анализ и геодинамическая модель формирования северо-азиатского кратона в раннем докембрии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 42–54.
9. 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.
10. Розен О. М., Манаков А. В., Зинчук Н. Н. Сибирский кратон: формирование, алмазоносность / науч. ред. С. И. Митюхин. М. : Научный Мир, 2006. 210 с.
11. Clifford T. N. Tectono-metallogenic units and metallogenic provinces of Africa // Earth and Planetary Science Letters. 1966. Vol. 1, no. 6. P. 421–434. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(66\)90039-2](https://doi.org/10.1016/0012-821x(66)90039-2).
12. Janse A. J. A. Is Clifford's Rule still valid? Affirmative examples from around the World // Proc. of the Fifth Intern. Kimberlite Conf. Vol. 2. Diamonds: Characterization, Genesis and Exploration, Araxá, June 1991 / Eds. H. O. A. Meyer, O. Leonardos. Brasilia : Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1994. P. 215–235.
13. Janse A. J. A., Sheahan P. A. Catalogue of world wide diamond and kimberlite occurrences: A selective and annotative approach // Journal of Geochemical Exploration. 1995. Vol. 53, nos. 1–3. P. 73–111. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)00017-6](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)00017-6).
14. Божко Н. А. Геотектонические факторы локализации алмазоносных кимберлитов в свете современных данных // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века : материалы регион. науч. конф. «Актуальные проблемы геологической отрасли АК «АЛРОСА» и научно-методическое обеспечение их решений», посвященной 35-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА», Мирный, апрель 2003 г. / отв. ред. Н. Н. Зинчук [и др.]. Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2003. С. 360–365.
15. Божко Н. А. Тектонические обстановки локализации алмазоносных кимберлитов за пределами архейских кратонов // Руды и металлы. 2006. № 1. С. 31–41.

16. Helmstaedt H. H., Gurney J. J. Geotectonic controls of primary diamond deposits: Implications for area selection // *Journal of Geochemical Exploration*. 1995. Vol. 53, nos. 1–3. P. 125–144. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)00018-7](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)00018-7).
17. Гусев Н. Анабарский щит Сибирского кратона: вещественный состав, геохимия, геохронология. Saarbrücken, Germany : LAMBERT Academic Publishing, 2013. 181 с.
18. 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, W. I. Ridley. Vol. 7. Littleton, USA : Society of Economic Geologists, 1998. P. 1–35. <https://doi.org/10.5382/Rev.07.01>.
19. Ludwig K. R. SQUID 1.13a. A User's Manual. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel // Berkeley Geochronol. Center Spec. Publ. No. 2. Berkeley, USA : Berkeley Geochronol. Center, 2005. 19 p.
20. Improved  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards / L. P. Black [et al.] // *Chemical Geology*. 2004. Vol. 205, nos. 1–2. P. 115–140. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.01.003>.
21. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analysis / M. Wiedenbeck [et al.] // *Geostandards and Geoanalytical Research*. 1995. Vol. 19, no. 1. P. 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x>.
22. Hoskin P. W. O. Minor and trace element analysis of natural zircon ( $\text{ZrSiO}_4$ ) by SIMS and laser ablation ICPMS: A consideration and comparison of two broadly competitive techniques // *J. Trace Microprobe Tech*. 1998. Vol. 16, no. 3. P. 301–326.
23. Further characterisation of the 91500 zircon crystal / M. Wiedenbeck [et al.] // *Geostandards and Geoanalytical Research*. 2004. Vol. 28, no. 1. P. 9–39. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2004.tb01041.x>.
24. Zircon M257 — a homogeneous natural reference material for the ion microprobe U–Pb analysis of zircon / L. Nasdala [et al.] // *Geostandards and Geoanalytical Research*. 2008. Vol. 32, no. 3. P. 247–265. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2008.00914.x>.
25. Isotope-dilution anchoring of zircon reference materials for accurate Ti-in-zircon thermometry / D. Szymanowski [et al.] // *Chemical Geology*. 2018. Vol. 481. P. 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.02.001>.
26. Recurrent magmatic activity on a lithosphere-scale structure: Crystallization and deformation in kimberlitic zircons / I. G. Tretiakova [et al.] // *Gondwana Research*. 2017. Vol. 42. P. 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.10.006>.
27. Rubatto D. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U–Pb ages and metamorphism // *Chemical Geology*. 2002. Vol. 184, nos. 1–2. P. 123–138. [https://doi.org/10.1016/s0009-2541\(01\)00355-2](https://doi.org/10.1016/s0009-2541(01)00355-2).
28. Watson E. B., Wark D. A., Thomas J. B. Crystallization thermometers for zircon and rutile // *Contrib Mineral Petrol*. 2006. Vol. 151. P. 413–433. <https://doi.org/10.1007/s00410-006-0068-5>.
29. Palme H., O'Neill H. St. C. 2.01 — cosmochemical estimates of mantle composition // *Treatise on Geochemistry*. 2007. Vol. 2. P. 1–38. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/02177-0>.
30. Smelov A. P., Timofeev V. F. The age of the North Asian Cratonic basement: An overview // *Gondwana Research*. 2007. Vol. 12, no. 3. P. 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.jr.2006.10.017>.
31. Общая структура фундамента восточной части кратона / А. П. Смелов [и др.] // *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия)* / отв. ред. Л. М. Парфенов, М. И. Кузьмин. М. : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. С. 108–112.
32. Trace element and age characteristics of zircons in granulite xenoliths from the Udachnaya kimberlite pipe, Siberia / M. Koreshkova [et al.] // *Precambrian Research*. 2009. Vol. 168, nos. 3–4. P. 197–212. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2008.09.007>.
33. Владыкин Н. В., Лепехина Е. А. Возраст необычных ксеногенных цирконов из кимберлитов Якутии // *Доклады Академии наук*. 2009. Т. 429, № 6. С. 774–778.
34. Zircon from kimberlites of the Nyurbinskaya pipe as indicator of kimberlite emplacement and lithosphere evolution / Z. V. Spetsius [et al.] // *Mineralogical Magazine*. 2011. Vol. 75, no. 3. P. 1922.
35. Tectonothermal evolution of the continental crust beneath the Yakutian diamondiferous province (Siberian craton): U-Pb and Hf isotopic evidence on zircons from crustal xenoliths of kimberlite pipes / V. S. Shatsky [et al.] // *Precambrian Research*. 2016. Vol. 282. P. 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2016.06.022>.
36. Multi-stage modification of Paleoproterozoic crust beneath the Anabar tectonic province (Siberian craton) / V. S. Shatsky [et al.] // *Precambrian Research*. 2018. Vol. 305. P. 125–144. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.11.017>.
37. The crust-mantle evolution of the Anabar tectonic province in the Siberian Craton: Coupled or decoupled? / V. S. Shatsky [et al.] // *Precambrian Research*. 2019. Vol. 332. P. 105388. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2019.105388>.
38. Koreshkova M., Downes H. The age of the lower crust of the central part of the Columbia supercontinent: A review of zircon data // *Gondwana Research*. 2021. Vol. 96. P. 37–55. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.02.024>.
39. Особенности строения и эволюции нижних частей континентальной коры Якутской алмазоносной провинции в районе Верхне-Мунского кимберлитового поля / В. С. Шацкий [и др.] // *Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле*. 2023. Т. 508, № 2. С. 173–184. <https://doi.org/10.31857/S2686739722602393>.

## REFERENCES

- Sarsadskikh N. N. Structural factor of kimberlite distribution on the Siberian Platform and forecasting of primary diamond potential. *Prediction and prospecting methods for nickel, tin, and diamond deposits in the Soviet Arctic: Proc.*, Leningrad, 15–17 Jan. 1969. Leningrad; 1968. P. 72–76. (In Russ.).
- Masaitis V. L., Mikhailov M. B., Selivanovskaya T. V. Volcanism and tectonics of the Mid-Paleozoic Patom-Vilyuy aulacogen. *VSEGEI Proc. N. S.* Vol. 192. Moscow: Nedra; 1975. 181 p. (In Russ.).
- Suvorov V. D. Deep seismic studies in the Yakutian kimberlite province / Publ. Ed. S. V. Krylov. Novosibirsk: Nauka: Siberian Publ. Co.; 1993. 134 p. (In Russ.).
- Gorev N. I. Kimberlite-controlling zones of the North-East Siberian platform. *Geology, distribution patterns, methods of forecasting and prospecting for diamond deposits: Proc. of the Sci. Conf.*, Mirny, 24–28 March 1998. Mirny: Mirny State Printing House; 1998. P. 246–248. (In Russ.).
- Gorev N. I. Tectonic zonation of the cover of the Siberian platform during forecasting primary sources of diamonds. *Problems of diamond geology and some ways of their solution*. Voronezh: Voronezh State Univ.; 2001. P. 462–481. (In Russ.).
- Manakov A. V. Structural features of the lithosphere in the Yakutian kimberlite province. Voronezh: Voronezh State Univ.; 1999. 58 p. (In Russ.).
- Manakov A. V. The technique of lithosphere root detection on the base of integrated geophysical data. *Problems of diamond geology and some ways of their solution*. Voronezh: Voronezh State Univ.; 2001. P. 270–277. (In Russ.).
- Smelov A. P., Timofeev V. F. Terrane analysis and the geodynamic model of the formation of the North Asian craton in the Early Precambrian. *Tikhookeanskaya Geologiya*. 2003; 22 (6): 42–54. (In Russ.).
- Early Proterozoic terranes, collision zones, and associated anorthosites in the northeast of the Siberian craton: Isotope geochemistry and age characteristics / O. M. Rozen [et al.]. *Russian Geology and Geophysics*. 2000; 41 (2): 159–178. (In Russ.).
- Rozen O. M., Manakov A. V., Zinchuk N. N. Siberian craton: Origin and the diamond control / Sci. Ed. S. I. Mityukhin. Moscow: Sci. World; 2006. 210 p. (In Russ.).

11. Clifford T. N. Tectono–metallogenic units and metallogenic provinces of Africa. *Earth and Planetary Science Letters*. 1966; 1 (6): 421–434. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(66\)90039-2](https://doi.org/10.1016/0012-821x(66)90039-2).
12. Janse A. J. A. Is Clifford's Rule still valid? Affirmative examples from around the World. *Proc. of the Fifth Intern. Kimberlite Conf. Vol. 2. Diamonds: Characterization, Genesis and Exploration*, Araxá, June 1991 / Eds. H. O. A. Meyer, O. Leonardos. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais; 1994. P. 215–235.
13. Janse A. J. A., Sheahan P. A. Catalogue of world wide diamond and kimberlite occurrences: A selective and annotative approach. *Journal of Geochemical Exploration*. 1995; 53 (1–3): 73–111. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)00017-6](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)00017-6).
14. Bozhko N. A. Modern data on geotectonic factors of diamondiferous kimberlite localization. *Problems of Forecasting, Prospecting, and Studying Mineral Deposits at the Threshold of the XXI Century: Proc. of the Reg. Sci. Conf. "Current Problems of ALROSA's Geological Industry, and Scientific and Methodological Provisions of Their Solutions"*, Mirny, Apr. 2003 / Publ. Ed. N. N. Zinchuk [et al.]. Voronezh: Voronezh State Univ.; 2003. P. 360–365. (In Russ.).
15. Bozhko N. A. Tectonic settings of diamondiferous kimberlite localization beyond Archean cratons. *Ores and Metals*. 2006; (1): 31–41. (In Russ.).
16. Helmstaedt H. H., Gurney J. J. Geotectonic controls of primary diamond deposits: Implications for area selection. *Journal of Geochemical Exploration*. 1995; 53 (1–3): 125–144. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)00018-7](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)00018-7).
17. Gusev N. The Anabar Shield of the Siberian Craton: Composition, geochemistry, geochronology. Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing; 2013. 181 p. (In Russ.).
18. 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, W. I. Ridley. Vol. 7. Littleton, USA: Society of Economic Geologists; 1998. P. 1–35. <https://doi.org/10.5382/Rev.07.01>.
19. Ludwig K. R. SQUID 1.13a. A User's Manual. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronol. Center Spec. Publ.* Berkeley, USA: Berkeley Geochronol. Center; 2005. 19 p.
20. Improved  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards / L. P. Black [et al.]. *Chemical Geology*. 2004; 205 (1–2): 115–140. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.01.003>.
21. Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, trace element and REE analysis / M. Wiedenbeck [et al.]. *Geostandards and Geoanalytical Research*. 1995; 19 (1): 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x>.
22. Hoskin P. W. O. Minor and trace element analysis of natural zircon ( $\text{ZrSiO}_4$ ) by SIMS and laser ablation ICP-MS: A consideration and comparison of two broadly competitive techniques. *J. Trace Microprobe Tech.* 1998; 16 (3): 301–326.
23. Further characterisation of the 91500 zircon crystal / M. Wiedenbeck [et al.]. *Geostandards and Geoanalytical Research*. 2004; 28 (1): 9–39. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2004.tb01041.x>.
24. Zircon M257 — a homogeneous natural reference material for the ion microprobe U–Pb analysis of zircon / L. Nasdala [et al.]. *Geostandards and Geoanalytical Research*. 2008; 32 (3): 247–265. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X-2008.00914.x>.
25. Isotope-dilution anchoring of zircon reference materials for accurate Ti-in-zircon thermometry / D. Szymanowski [et al.]. *Chemical Geology*. 2018; 481: 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.02.001>.
26. Recurrent magmatic activity on a lithosphere-scale structure: Crystallization and deformation in kimberlitic zircons / I. G. Tretiakova [et al.]. *Gondwana Research*. 2017; 42: 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.10.006>.
27. Rubatto D. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U–Pb ages and metamorphism. *Chemical Geology*. 2002; 184 (1–2): 123–138. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(01\)00355-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(01)00355-2).
28. Watson E. B., Wark D. A., Thomas J. B. Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contrib Mineral Petrol.* 2006; 151: 413–433. <https://doi.org/10.1007/s00410-006-0068-5>.
29. Palme H., O'Neill H. St. C. 2.01 — cosmochemical estimates of mantle composition. *Treatise on Geochemistry*. 2007; 2: 1–38. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/02177-0>.
30. Smelov A. P., Timofeev V. F. The age of the North Asian Craton basement: An overview. *Gondwana Research*. 2007; 12 (3): 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2006.10.017>.
31. General foundation of the eastern part of the craton / A. P. Smelov [et al.]. *Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Sakha Republic (Yakutia)* / Publ. Eds. L. M. Parfenov, M. I. Kuzmin. Moscow: MAIK "Nauka/Interperiodica"; 2001, P. 108–112. (In Russ.).
32. Trace element and age characteristics of zircons in granulite xenoliths from the Udachnaya kimberlite pipe, Siberia / M. Koreshkova [et al.]. *Precambrian Research*. 2009; 168 (3–4): 197–212. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2008.09.007>.
33. Vladykin N. V., Lepekhina E. A. The age of unusual xenogenic zircons from Yakutian kimberlites. *Dokl. Earth Sc.* 2009; 429: 1451–1456. <https://doi.org/10.1134/S1028334X09090098>. (In Russ.).
34. Zircon from kimberlites of the Nyurbinskaya pipe as indicator of kimberlite emplacement and lithosphere evolution / Z. V. Spetsius [et al.]. *Mineralogical Magazine*. 2011; 75 (3): 1922.
35. Tectonothermal evolution of the continental crust beneath the Yakutian diamondiferous province (Siberian craton): U–Pb and Hf isotopic evidence on zircons from crustal xenoliths of kimberlite pipes / V. S. Shatsky [et al.]. *Precambrian Research*. 2016; 282: 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2016.06.022>.
36. Multi-stage modification of Paleoproterozoic crust beneath the Anabar tectonic province (Siberian craton) / V. S. Shatsky [et al.]. *Precambrian Research*. 2018; 305: 125–144. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.11.017>.
37. The crust–mantle evolution of the Anabar tectonic province in the Siberian Craton: Coupled or decoupled? / V. S. Shatsky [et al.]. *Precambrian Research*. 2019; 332: 105388. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2019.105388>.
38. Koreshkova M., Downes H. The age of the lower crust of the central part of the Columbia supercontinent: A review of zircon data. *Gondwana Research*. 2021; 96: 37–55. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.02.024>.
39. Features of the structure and evolution of the lower parts of the continental crust of the Yakutian diamondiferous province in the area of the Upper-Muna kimberlite field / V. S. Shatsky [et al.]. *Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle*. 2023; 508 (2): 173–184. <https://doi.org/10.31857/S2686739722602393>. (In Russ.).

## Голубурдина 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

<sup>1</sup>Доктор геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник, <sup>2</sup>главный геолог

<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

<sup>1</sup>Sergey\_Grakhonov@karpinskyinstitute.ru; <sup>2</sup>s.grakhonov@yandex.ru

## Дак Алексей Иванович

Кандидат геолого-минералогических наук,  
руководитель направления группы поисковой минералогии  
Экспертно-геологического центра Вилюйской  
геологоразведочной экспедиции

Акционерная компания «АЛРОСА», Мирный, Россия

AuthorID РИНЦ 307879  
DakAI@alrosa.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

## Мальковец Владимир Григорьевич

<sup>1</sup>Кандидат геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник Научно-геологического  
центра Вилюйской геологоразведочной экспедиции,  
<sup>2</sup>старший научный сотрудник

<sup>1</sup>Акционерная компания «АЛРОСА», Мирный, Россия;  
<sup>2</sup>Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
Новосибирск, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-2966-8579>  
Scopus Author ID 6505902107

ResearcherID E-5222-2011

SPIN-код РИНЦ 5426-4826

<sup>1</sup>MalkovetsVG@alrosa.ru; <sup>2</sup>Vladimir.malkovets@igm.nsc.ru

## Проскурнин Василий Федорович

Доктор геолого-минералогических наук,  
заведующий отделом региональной геологии  
и полезных ископаемых Севера Сибири

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

<https://orcid.org/0000-0002-6424-0068>  
Scopus Author ID 24071443100

SPIN-код РИНЦ 9643-9569

AuthorID РИНЦ 125966

Vasily\_Proskurnin@karpinskyinstitute.ru

## Sergey A. Grakhonov

<sup>1</sup>DSc (Geology and Mineralogy), Chief Researcher  
<sup>2</sup>Chief Geologist

<sup>1</sup>All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia;  
<sup>2</sup>ALMAR — diamonds of the Arctic, Yakutsk, Russia

<https://orcid.org/0009-0009-5327-309X>  
RSCI SPIN-code 5254-5010

<sup>1</sup>Sergey\_Grakhonov@karpinskyinstitute.ru; <sup>2</sup>s.grakhonov@yandex.ru

## Aleksey I. Dak

PhD (Geology and Mineralogy),  
Exploration Mineralogy Group Leader  
Vilyuy Geological Exploration Expedition

ALROSA, Mirny, Russia

RSCI AuthorID 307879  
DakAI@alrosa.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

## Vladimir G. Malkovets

<sup>1</sup>PhD, Leading Researcher  
Geological Research Center,  
Vilyuy Geological Exploration Expedition,  
<sup>2</sup>Senior Researcher

<sup>1</sup>ALROSA, Mirny, Russia;  
<sup>2</sup>V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy,  
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-2966-8579>  
Scopus Author ID 6505902107

ResearcherID E-5222-2011

RSCI SPIN-code 5426-4826

<sup>1</sup>MalkovetsVG@alrosa.ru; <sup>2</sup>Vladimir.malkovets@igm.nsc.ru

## Vasily F. Proskurnin

DSc (Geology and Mineralogy),  
Head, Department of Regional Geology and Mineral Resources  
of the North of Siberia

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

<https://orcid.org/0000-0002-6424-0068>  
Scopus Author ID 24071443100

RSCI SPIN-code 9643-9569

RSCI AuthorID 125966

Vasily\_Proskurnin@karpinskyinstitute.ru

## Тарасов Алексей Всеволодович

Кандидат геолого-минералогических наук,  
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

## Aleksey V. Tarasov

PhD (Geology and Mineralogy),  
Deputy Head, Department of Geological Foundations,  
Science, and Informatics

Federal Subsoil Resources Management Agency, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0009-0002-1826-0655>  
atarasov@rosnedra.gov.ru

---

**Авторское выражение благодарности:** авторы выражают благодарность специалистам Центра изотопных исследований ФГБУ «Институт Карпинского» за подготовку пробы к измерениям и Н. В. Родионову за помощь в получении экспериментальных данных.

**Acknowledgments:** the authors express their gratitude to the specialists of the Centre of Isotopic Research at Karpinsky Institute for preparing the sample to be measured and N. V. Rodionov for assistance in obtaining experimental data.

---

**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 27.11.2024  
Одобрена после рецензирования 10.04.2025  
Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 27.11.2024  
Approved after reviewing 10.04.2025  
Accepted for publication 20.06.2025

Научная статья

УДК 564.53"622.46"(470.1)

doi.org/10.52349/0869-7892\_2025\_102\_62-68

**Ключевые слова:** палеонтология, стратиграфия, верхняя юра, аммоноидеи, род *Epivirgatites*, двустворчатые моллюски, белемниты, Ижма, Печора

**Благодарности:** работы выполнены в рамках Государственного задания Федерального агентства по недропользованию № 049-00018-22-01 от 14.01.2022.

**Для цитирования:** Вукс В. Я., Репин Ю. С., Вовшина А. Ю. Новый вид аммоноидей из верхней юры бассейна реки Печора // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 62–68. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_62-68](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_62-68)

Original article

UDC 564.53"622.46"(470.1)

doi.org/10.52349/0869-7892\_2025\_102\_62-68

**Keywords:** paleontology, stratigraphy, Upper Jurassic, ammonoids, genus *Epivirgatites*, bivalves, belemnites, Izhma, Pechora

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

**For citation:** Vuks V. Ja., Repin Yu. S., Vovshina A. Yu. A new species of ammonoids from the Upper Jurassic of the Pechora River basin. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (2): 62–68. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_62-68](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_62-68)



© В. Я. Вукс, Ю. С. Репин,  
А. Ю. Вовшина, 2025

## Новый вид аммоноидей из верхней юры бассейна реки Печора

В. Я. Вукс<sup>1</sup>✉, Ю. С. Репин<sup>2</sup>, А. Ю. Вовшина<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Независимый исследователь, Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** Изучение верхнеюрско-нижнемеловых отложений паромесской свиты в бассейне р. Печора (обнажения на реках Ижма и Кедва, Республика Коми) проводилось для уточнения мезозойского блока легенды Мезенской серии листов государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000. В ходе полевых работ собрана разнообразная коллекция макрофауны, в которой преобладают двустворчатые моллюски, а в меньших количествах присутствуют аммоноидеи и белемниты. В рамках исследования собранной макрофауны найден и описан новый вид аммоноидей — *Epivirgatites mesezhnikovii* sp. nov., характерный для зоны *Epivirgatites nikitini* волжского регионаруса. Совместно с новым видом аммоноидей были встречены богатые комплексы двустворчатых моллюсков *Buchia fischeriana* (d'Orbigny), *B. russiensis* (Pavlow), *B. mosquensis* (Buch), *B. spp.*, *Pinna* sp. indet., *Liostrea* sp. indet. и белемниты *Cylindroteuthis (Cylindroteuthis) ex gr. lepida* Sachs et Naljaeva, *Lagonibelus (Holcobeloides) volgensis* (d'Orbigny), *Lagonibelus* sp. Проведенные работы позволили существенно дополнить комплексную палеонтологическую характеристику паромесской свиты и особенно зоны *Epivirgatites nikitini* волжского регионаруса.

## A new species of ammonoids from the Upper Jurassic of the Pechora River basin

V. Ja. Vuks<sup>1</sup>✉, Yu. S. Repin<sup>2</sup>, A. Yu. Vovshina<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Independent researcher, Saint Petersburg, Russia

**Abstract.** The authors studied the Upper Jurassic — Lower Cretaceous deposits of the Paromes Formation in the Pechora River basin found in the Izhma and Kedva rivers outcrops (Komi Republic). These works contributed to clarifying the Mesozoic block of the Mezen series sheets legend of the State Geological Map (scale of 1 : 1,000,000). Field work aided in collecting a diverse collection of macrofauna, with bivalves dominating, as well as fewer ammonoids and belemnites included. Exploring the gathered macrofauna led to find and describe a new species of ammonoids *Epivirgatites mesezhnikovii* sp. nov., which is characteristic of the *Epivirgatites nikitini* zone in the Volgian Regional Stage. The new species of ammonoids accompanied rich assemblages of bivalves *Buchia fischeriana* (d'Orbigny), *B. russiensis* (Pavlow), *B. mosquensis* (Buch), *B. spp.*, *Pinna* sp. indet., *Liostrea* sp. indet., and belemnites *Cylindroteuthis (Cylindroteuthis) ex gr. lepida* Sachs et Naljaeva, *Lagonibelus (Holcobeloides) volgensis* (d'Orbigny), *Lagonibelus* sp. The work resulted in collecting an extensive collection of macrofauna, which updated the complex paleontological characteristics of the Paromes Formation and especially the *Epivirgatites nikitini* zone of the Volgian Regional Stage.

## ВВЕДЕНИЕ

В рамках актуализации легенды Мезенской серии листов государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 проведены полевые работы по изучению стратиграфии верхнеюрско-нижнемеловых разрезов паромесской свиты со сбором макрофауны в обнажениях на реках Ижма и Кедва. В 1976 г. В. С. Кравец, М. С. Месежников, Г. А. Слонимский предложили название свиты и охарактеризовали ее возраст как «средне-верхневолжский» для запада и центра Печорской синеклизы, а для востока — как «верхневолжский» [1]. В качестве стратотипа авторы указали обнажения по правому берегу р. Ижма напротив д. Поромес (Республика Коми), хотя детального описания не представили [1]. В унифицированной стратиграфической схеме юрских отложений Русской платформы [2] в бассейне р. Ижма паромесская свита соответствует волжскому региоярсу, исключая две нижние аммонитовые зоны нижнего подъяруса, а в 2012 г. в более современной унифицированной региональной стратиграфической схеме юрских отложений Восточно-Европейской платформы [3] свита соотносится с титонем — нижним берриасом (волжский региоярус). Авторы «Атласа моллюсков Печорской юры» Ю. С. Репин, В. А. Захаров, С. В. Меледина, Т. И. Нальняева отметили [4], что в обнажениях по р. Ижма паромесская свита представлена всеми частями волжского региояруса, хотя наличие низов региояруса здесь дискуссионно. Многочисленные исследователи, включая авторов региональных стратиграфических схем, отмечали наличие различных комплексов аммонитов по разрезу свиты, в том числе и сообщество аммоноидей зоны *Epirvirgatites nikitini*, а также присутствие комплексов белемнитов, двустворок, фораминифер и остракод, соответствующих упомянутой зоне [5; 6].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В результате полевых работ 2022 г. Ижемской партией Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского (руководитель А. Ю. Вовшина) были описаны отложения паромесской свиты по р. Ижма (рис. 1) и собраны образцы аммоноидей, двустворчатых моллюсков и белемнитов (рис. 2, 3).

Свита сложена в основном серыми известковистыми глинами, а в ее нижней части среди известковистых глин располагаются пачки чередования глин, горючих сланцев и ракушняков. Собранная нами коллекция аммоноидей приурочена только к отложениям зоны *Epirvirgatites nikitini* волжского региояруса, в которых найдены и определены вид *Epirvirgatites lahuseni* (Nik.) и новый вид *Epirvirgatites mesezhnikovi* sp. nov. Во внутренних оборотах последний характеризуется тонкими многочисленными двураздельными ребрами, а на крупных оборотах раковины переходят в узкие приостренные и широко расставленные ребра. Обломок экземпляра этого вида с р. Ижма был изображен М. С. Месежниковым в двух публикациях

[5; 7], в частности, в первой работе под № 242/767 в виде фиг. 2 на табл. LI и описан на с. 146 как *Epirvirgatites* sp. Исследования последних десятилетий позволяют отметить, что наибольшее разнообразие комплекса макрофауны фиксируется в средней части отложений паромесской свиты, которые соответствуют в том числе и зоне *Epirvirgatites nikitini* среднего региоподъяруса. Образцы аммоноидей нового вида с наилучшей сохранностью были найдены в обнажении коренных пород (120 м на 5 м) в высохшем русле р. Ижма в 350 м по азимуту 190° от стратотипического разреза, расположенного в береговом обрыве р. Ижма напротив д. Поромес. Наиболее богатая коллекция собранных нами двустворчатых моллюсков коррелирует с верхней частью среднего региоподъяруса и нижней частью верхнего региоподъяруса волжского региояруса [1; 5]. В отложениях, соответствующих зоне *Epirvirgatites nikitini*, были обнаружены и определены двустворчатые моллюски: *Buchia fischeriana* (d'Orbigny), *B. russiensis* (Pavlov), *B. mosquensis* (Buch), *B. spp.*, *Pinna* sp. indet., *Liostrea* sp. indet. Здесь же встречены и определены белемниты *Cylindroteuthis* (*Cylindroteuthis*) ex gr. *lepida* Sachs et Nalnjaeva, *Lagonibelus* (*Holcobeloides*)

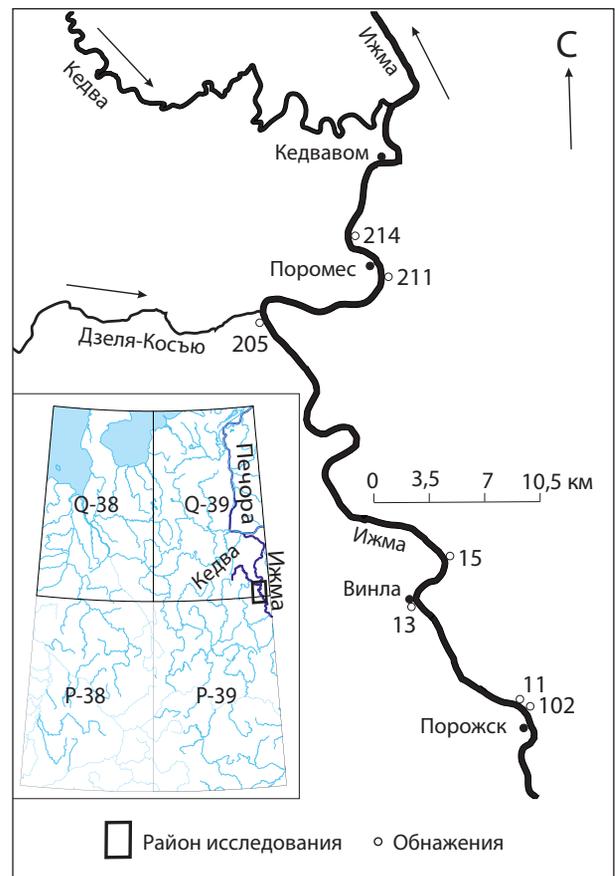


Рис. 1. Расположение района исследований и обнажений на р. Ижма (бассейн р. Печора), в которых были найдены образцы с изученными аммоноидеями

Fig. 1. Location of the research area and the Izhma River outcrops (Pechora River basin), with the samples of the studied ammonoids found

*volgensis* (d'Orb.), *Lagonibelus* sp. Коллекция образцов с новым видом аммоноидей хранится в Центральном научно-исследовательском геологоразведочном музее имени академика Ф. Н. Чернышева (далее — ЦНИГР музей) под временным номером ВХ ЭФЗК 8. Определение макрофауны и описание нового вида аммоноидей *Epivirgatites mesezhnikovi* sp. nov. выполнено доктором геолого-минералогических наук Ю. С. Репиным.



Рис. 2. Фотография фрагмента обн. 211 в высохшей части русла р. Ижма

Fig. 2. Photograph of outcrop fragment 211 in the dried-up part of the Izhma riverbed



Рис. 3. Фотография места отбора обр. 211/35 на микрофауны и обр. 211/36 с двумя паратипами нового вида

Fig. 3. Photograph of sample site for microfauna 211/35 and sample 211/36 with two paratypes of a new species

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Подсемейство *DORSOPLANITINAE* Arkell

Род *Epivirgatites* Spath, 1923

*Epivirgatites mesezhnikovi* Repin, sp. nov.

Табл. 1. Фиг. 1, 2. Табл. 2. Фиг. 1, 2.

*Epivirgatites* sp.: Стратиграфия..., 1976, табл. XXV, фиг. 4 [7]; Кимериджский..., 1984, с. 146, табл. LI, фиг. 2 [5].

Название вида — в честь известного аммонитолога М. С. Месежникова.

**Голотип.** ЦНИГР музей № ВХ ЭФЗК 8/1/1, полевой номер 31 экз. 1. Бассейн р. Печора, р. Ижма; верхний титон, волжский региоярус, средний региоподъярус, зона *Epivirgatites nikitini*.

**Описание.** Раковины крупные (Д ~9–10 см), обороты округленно-прямоугольные, с уплощенными боками, невысокой отвесной пупковой стенкой и очень резким пупковым перегибом. Скульптура в виде многочисленных тесно расположенных, почти радиальных бипликатовых, а также изредка одиночных и виргатотомных трехраздельных ребер. Ребра внутренних оборотов тонкие многочисленные и тесно расположенные, а на крупных оборотах раковин больше 5 см в диаметре они становятся узкими, приостренными и чуть шире расставленными.

**Сравнение.** В настоящее время род *Epivirgatites* Spath, 1924 принимается в составе двух подродов: *Epivirgatites* S. S. и *Biplicioceras* Ivanov, 1986 [8]. Основой последнего служит *E. (Biplicioceras) bipliciformis* (Nikitin) из средневожского региоподъяруса зоны *E. nikitini*<sup>1</sup>. Изученные экземпляры сближаются в первую очередь с этим видом. Некоторое различие между ними заключается в большей уплощенности оборотов ижемских образцов (Кимериджский..., 1984, табл. LI, фиг. 2 [5]) по сравнению с типом *E. (B.) bipliciformis* (Nikitin, 1881) (Никитин, 1881, табл. X, фиг. 52 [6]; Рогов, 2021, табл. LXVI, фиг. 4–7 [9]), а главное — в тонкой изящной ребристости внутренних оборотов наших образцов.

**Замечание.** Впервые описываемый вид установлен М. С. Месежниковым в юрских отложениях р. Ижма и представлен им как *Epivirgatites* sp. (Стратиграфия..., 1976, табл. XXV, фиг. 4 [7]; Кимериджский..., 1984, табл. LI, фиг. 2 [5]). Коллекция М. С. Месежникова содержит фрагменты жилых камер крупных раковин (6 штук). Дополнительный материал получен в 2022 г. и представлен четырьмя расплюснутыми раковинами с сохранившимся началом жилых камер. Кроме того, найдено 14 обломков с фрагментами внутренних оборотов с характерной тонкой ребристостью этого вида. Сохранность данных образцов не позволяет получить достоверную информацию о форме и параметрах раковин.

Плохая (неполная) сохранность наших образцов позволяет использовать в качестве основного диагностического признака только характер ребристости. На изученных экземплярах прослежено

<sup>1</sup>Иванов А. Н., Баранов В. Н., Муравин Е. С. Памятники природы в изучении летописи Земли (с. Глебово и его окрестности) : учеб. пособие. Ярославль, 1987. 83 с.

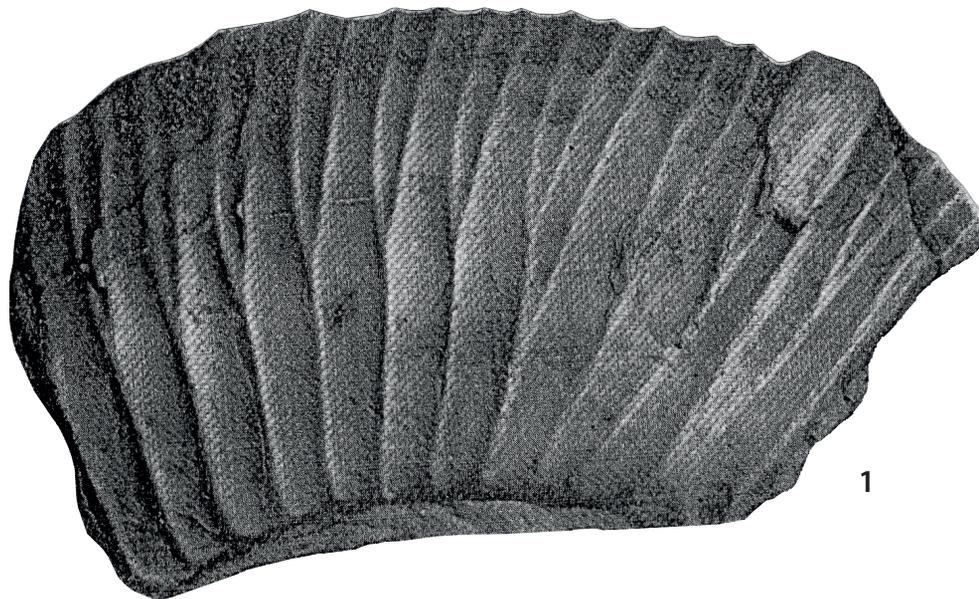
изменение характера ребристости от внутренних оборотов до ребристости жилой камеры. По этому признаку намечается таксономическая общность наших образцов и образцов М. С. Месежникова, позволяющая предположить, что эти образцы принадлежат одному виду. Поэтому при описании вида полностью использована информация, приведенная М. С. Месежниковым [5].

Стратиграфическое положение образцов и родовая принадлежность приняты по М. С. Месежникову [5].

**Распространение.** Верхний титон, средневожский региоподъярус, зона *Epirivatites nikitini*.

**Материал.** 18 экз.: бассейн р. Печора, р. Ижма, вблизи деревень Поромес, Порожск и Винла — 4 образца и 14 фрагментов (обнажения 11, 13, 15, 102, 205, 211, 214, 214).

Таблица 1



1



2

Объяснение к таблицам 1, 2. *Epirivatites mesezhnikovi* Repin, sp. nov. Аммоноидеи паромесской свиты верхнего титона, средний подъярус вожского региояруса, зона *Epirivatites nikitini*, р. Ижма в бассейне р. Печора, вид сбоку, изображены в натуральную величину. Фиг. 1 — *Epirivatites* sp. № 242/767, обн. 27а, р. Ижма вблизи с. Кедвавом; фиг. 2 — *Epirivatites mesezhnikovi* Repin, sp. nov. Голотип, ЦНИГР музей № ВХ ЭФЗК 8/1/1, полевой номер 31/1, обн. 211, обр. 31, правобережье р. Ижма напротив д. Поромес

Таблица 2



Фиг. 1 — *Epirigatites mesezhnikovi* Repin, sp. nov. Паратип, ЦНИГР музей № ВХ ЭФЗК 8/1/2, полевой номер 31/2, обн. 211, обр. 31, правобережье р. Ижма напротив д. Поромес; фиг. 2 — *Epirigatites mesezhnikovi* Repin, sp. nov.: а — паратип, ЦНИГР музей № ВХ ЭФЗК 8/2/1, полевой номер 36/1, обн. 211, обр. 36; б — паратип, ЦНИГР музей № ВХ ЭФЗК 8/2/2, полевой номер 36/2, обн. 211, обр. 36: правобережье р. Ижма напротив д. Поромес

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования паромесской свиты были собраны коллекции макрофауны, в том числе найден и описан новый вид аммоноидей *Epivirgatites mesezhnikovi* Repin, sp. nov. и определен известный вид *Epivirgatites lahuseni* (Nik.), характерные для зоны *Epivirgatites nikitini* волжского региояруса. Кроме того, совместно с ними были установлены двустворчатые моллюски *Buchia fischeriana* (d'Orbigny), *B. russiensis* (Pavlow), *B. mosquensis* (Buch), *B. spp.*, *Liostraea* sp. indet., *Pinna* sp. indet. и белемниты *Cylindroteuthis* (*Cylindroteuthis*) ex gr. *lepida* Sachs et Nalnjaeva, *Lagonibelus* (*Holcobeloides*) *volgensis* (d'Orbigny), *Lagonibelus* sp.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кравец В. С., Месежников М. С., Слонимский Г. А. Строение юрско-нижнемеловой толщи в бассейне р. Печоры // Биостратиграфия отложений мезозоя нефтегазоносных областей СССР : тр. ВНИГРИ / науч. ред. М. С. Месежников, А. И. Киричкова. Вып. 388. Л. : ВНИГРИ, 1976. С. 27–41.
2. Объяснительная записка к унифицированной стратиграфической схеме юрских отложений Русской платформы / ред. С. П. Яковлева. СПб. : ВНИГРИ, 1993. 72 с.
3. Унифицированная региональная стратиграфическая схема юрских отложений Восточно-Европейской платформы. Объяснительная записка / сост. В. В. Митта [и др.] ; ред. В. В. Митта, А. С. Алексеев, С. М. Шик. М. : ПИН РАН — ФГУП «ВНИГНИ», 2012. 63 с.
4. Атлас моллюсков Печорской юры : бюлл. ВНИГРИ № 3 / Ю. С. Репин [и др.] ; науч. ред. А. И. Киричкова. СПб. : Недра, 2006. 261 с.
5. Киммериджский и волжский ярусы севера СССР / сост. М. С. Месежников. Л. : Недра, 1984. 224 с.
6. Никитин С. Юрские образования между Рыбинском, Мологою и Мышкиным // Материалы для геологии России : изд. Имп. С.-Петербур. Минерал. О-ва. Т. X. СПб. : Тип. Имп. Акад. Наукъ, 1881. С. 201–331.
7. Стратиграфия юрской системы севера СССР / отв. ред. В. Н. Сакс. М. : Наука. 1976. 436 с.

8. Иванов А. Н., Муравин Е. С. Стратиграфия средне-волжских отложений у с. Глебово Ярославской области // Юрские отложения Русской платформы : сб. науч. тр. / отв. ред. М. С. Месежников. Л. : ВНИГРИ, 1986. С. 62–71.

9. Рогов М. А. Аммониты и инфразональная стратиграфия киммериджского и волжского ярусов Панбореальной надобласти : тр. Геол. ин-та / отв. ред. В. А. Захаров. Вып. 627. М. : ГИН РАН, 2021. 732 с.

## REFERENCES

1. Kravets V. S., Mesezhnikov M. S., Slonimsky G. A. The structure of the Jurassic — Lower Cretaceous strata in the Pechora River basin. *Biostratigraphy of the Mesozoic Deposits in Oil and Gas Regions of the USSR*: VNIGRI Proc. / Sci. Ed. M. S. Mesezhnikov, A. I. Kirichkova. Vol. 388. Leningrad: VNIGRI; 1976. P. 27–41. (In Russ.).
2. Unified stratigraphic scheme of the Jurassic deposits of the Russian Platform. Explanatory note. St. Petersburg: VNIGRI; 1993. 72 p. (In Russ.).
3. Unified regional stratigraphic scheme of the Jurassic of East European Platform. Explanatory note / Comp. V. V. Mitta [et al.]; Eds. V. V. Mitta, A. S. Alekseev, S. M. Shik. Moscow: PIN RAS — VNIGNI; 2012. 63 p. (In Russ.).
4. Atlas of the mollusks of the Pechora Jurassic: Bulletin of VNIGRI no. 3 / Yu. S. Repin [et al.]; Sci. Ed. A. I. Kirichkova. St. Petersburg: Nedra; 2006. 261 p. (In Russ.).
5. The Kimmeridgian and Volgian stages of the north of the USSR. Leningrad: Nedra; 1984. 224 p. (In Russ.).
6. Nikitin S. Jurassic formations between Rybinsk, Mologa, and Myshkin. *Materials for Geology of Russia*: Imp. St. Petersburg Miner. Soc. Ed. Vol. X. St. Petersburg: Imp. Acad. of Sci. Print. House; 1881. P. 201–331. (In Russ.).
7. Stratigraphy of the Jurassic system of the North of the USSR / Publ. Ed. V. N. Saks. Moscow: Nauka; 1976. 436 p. (In Russ.).
8. Ivanov A. N., Muravin E. S. Stratigraphy of the Middle Volga deposits near the village of Glebovo, Yaroslavl region. *Jurassic Deposits of the Russian Platform*: Proc. / Publ. Ed. M. S. Mesezhnikov. Leningrad: VNIGRI; 1986. P. 62–71. (In Russ.).
9. Rogov M. A. Ammonites and infrazonal stratigraphy of the Kimmeridgian and Volgian stages of Panboreal Superrealm: Trans. of the Geol. Inst. / Publ. Ed. V. A. Zakharov. Moscow: GIN RAS; 2021. 732 p. (In Russ.).

## Валерий Янович Вукс

Кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник,  
ведущий научный сотрудник отдела стратиграфии  
и палеонтологии

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

<https://orcid.org/0009-0009-2624-3127>  
Scopus Author ID 15078907700  
AuthorID РИНЦ 58168  
Valery\_Vuks@karpinskyinstitute.ru

## Юрий Степанович Репин

Доктор геолого-минералогических наук,  
пенсионер

Санкт-Петербург, Россия

Scopus Author ID 55778595500  
repinys.spb@mail.ru

## Valery Ja. Vuks

PhD (Geology and Mineralogy),  
Senior Researcher,  
Leading Researcher, Department of Stratigraphy  
and Paleontology

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

<https://orcid.org/0009-0009-2624-3127>  
Scopus Author ID 15078907700  
RSCI AuthorID 58168  
Valery\_Vuks@karpinskyinstitute.ru

## Yurii S. Repin

DSc (Geology and Mineralogy),  
retiree

Saint Petersburg, Russia

Scopus Author ID 55778595500  
repinys.spb@mail.ru

## Анна Юрьевна Вовшина

И. о. начальника отдела региональной геологии  
и полезных ископаемых Западных районов

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

Anna\_Vovshina@karpinskyinstitute.ru

## Anna Yu. Vovshina

Acting Head, Department of Regional Geology  
and Mineral Resources of Western areas

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

Anna\_Vovshina@karpinskyinstitute.ru

---

**Вклад авторов:** *Вукс В. Я.* — участие в сборе материала в поле, концепция написания статьи, написание разделов статьи, создание графики, оформление статьи, итоговые выводы.  
*Репин Ю. С.* — определение и описание нового вида, фотографирование образцов, итоговые выводы.  
*Вовшина А. Ю.* — участие в сборе материала в поле, подготовка дополнительных материалов, создание графики, итоговые выводы.

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

**Contribution of the authors:** *Vuks V. Ja.* — participation in the in-field material collection, concept of writing the article, writing the article sections, creating graphics, formatting the article, final conclusions.  
*Repin Yu. S.* — definition and description of a new species, photographing samples, final conclusions.  
*Vovshina A. Yu.* — participation in the in-field material collection, preparation of supplementary data, creating graphics, final conclusions.

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

Статья поступила в редакцию 24.04.2025  
Одобрена после рецензирования 23.05.2025  
Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 24.04.2025  
Approved after reviewing 23.05.2025  
Accepted for publication 20.06.2025

Научная статья

УДК 551.7.022.4"622.44"(571.121)  
doi:10.52349/0869-7892\_2025\_102\_69-81

**Ключевые слова:** концептуальная модель, фациальный анализ, седиментологическое описание, электрофации, сейсмическая интерпретация, сейсмофации, спектральная декомпозиция, Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн

**Для цитирования:** Бадалян Э. А., Чернова И. Г., Егоров А. С. Седиментационная модель пласта Ю2-1 тюменской свиты (ЯНАО), полученная на основе комплексного анализа геолого-геофизической информации // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 69–81. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_69-81](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_69-81)

Original article

UDC 551.7.022.4"622.44"(571.121)  
doi:10.52349/0869-7892\_2025\_102\_69-81

**Keywords:** conceptual model, facies analysis, sedimentation description, electrofacies, seismic data interpretation, seismic facies, spectral decomposition, West Siberian oil and gas basin

© Э. А. Бадалян, И. Г. Чернова,  
А. С. Егоров, 2025

## Седиментационная модель пласта Ю2-1 тюменской свиты (ЯНАО), полученная на основе комплексного анализа геолого-геофизической информации

Э. А. Бадалян<sup>1</sup>✉, И. Г. Чернова<sup>2</sup>, А. С. Егоров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия, s225004@stud.spmi.ru✉

<sup>2</sup>Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия

**Аннотация.** На примере одного из нефтегазоконденсатных месторождений в северной части Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна в Ямало-Ненецком автономном округе показана применимость региональных данных для общего понимания процессов осадконакопления изучаемого региона и важность детальной проработки всей разноуровневой информации для построения надежной основы 3D геологической модели. На основе комплексного анализа разнородной геолого-геофизической информации построена седиментационная модель пласта верхней части тюменской свиты. Установлено, что формирование пласта Ю2-1 на территории исследования происходило в условиях приливно-отливной равнины в литоральной зоне на участках с преобладающей глинистой и смешанной песчано-глинистой седиментацией. Основной объем песчаных тел приурочен к прирусловым барам, образовавшимся в результате латеральной аккреции. Ограничивают баровые тела заглинизированные каналы. Фациальные особенности пласта, установленные по результатам качественной интерпретации сейсмических данных, хорошо согласуются с данными электрофациального анализа и с фациями, выделенными по керну. Полученные результаты подтверждают прогностическую способность построенной седиментационной модели и делают возможным ее использование в качестве надежной основы для будущей 3D геологической модели.

## Sedimentation model of the Middle Jurassic Tyumen Formation layer U2-1 (Yamalo-Nenets Autonomous Okrug), based on the comprehensive analysis of geological and geophysical data

E. A. Badalyan<sup>1</sup>✉, I. G. Chernova<sup>2</sup>, A. S. Egorov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia, s225004@stud.spmi.ru✉

<sup>2</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

**Abstract.** The example of an oil and gas condensate field in the northern part of the West Siberian oil and gas basin in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug demonstrates how applicable the regional data are for sedimentation process awareness in the region to study and how important it is to delve into all multi-level data to build a reliable 3D geological model basis. The comprehensive analysis of heterogeneous geological and geophysical data resulted in developing a sedimentation model

**For citation:** Badalyan E. A., Chernova I. G., Egorov A. S. Sedimentation model of the Middle Jurassic Tyumen Formation layer U2-1 (Yamalo-Nenets Autonomous Okrug), based on the comprehensive analysis of geological and geophysical data. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (2): 69–81. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_69-81](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_69-81)

of the Upper Tyumen Formation layer. Tidal plain conditions in the littoral zone in areas with predominant clay and mixed sandy-clay sedimentation formed the Middle Jurassic layer in the study area. The bulk of sand bodies are confined to point bars formed as a result of lateral accretion. Mudded channels limit the bar bodies. The qualitatively interpreted seismic data led to identify the layer facies features corresponding to the electrofacies analysis data and core facies. The obtained data confirm the prognostic value of the sedimentation model to be used as a reliable basis for a future 3D geological model.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время построение трехмерных геологических моделей стало неотъемлемой частью процесса создания интегрированной концепции разработки нефтегазовых месторождений, планирования и сопровождения бурения. Детальная проработка геологических моделей является основой для применения наиболее эффективных вариантов разработки месторождений, а также решением проблем, связанных с планированием, сопровождением строительства скважин различного назначения. Важнейший этап 3D геологического моделирования — седиментационная модель, в основе которой лежит информация и представление об условиях осадконакопления изучаемого резервуара.

Актуальность представленной темы существенно возрастает, если речь идет о сложных, гетерогенных коллекторах, имеющих высокую латеральную и вертикальную изменчивость и при этом слабоизученных разведочным бурением. К таким коллекторам относятся среднеюрские отложения тюменской свиты Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, запасы нефти в которых часто относят к категории ТРИЗ (трудноизвлекаемые запасы). Сегодня основное внимание большинства отечественных нефтегазовых компаний сосредоточено на изучении и разработке данного интервала, что обусловлено в первую очередь истощением традиционных запасов углеводородов.

В работе реализуется построение седиментационной модели пласта Ю2-1 тюменской свиты, отражающей заключительный этап формирования среднеюрских отложений данной территории. Район исследований относится к Надым-Пурской нефтегазоносной области, где в разрезе средней юры выявлены залежи углеводородов [1]. Седиментационному анализу данного интервала посвящено несколько работ [2–4].

Задачи седиментационного моделирования заключаются в определении условий осадконакопления, выявлении закономерностей распространения коллектора и его архитектуры (размеров песчаных тел), основанных на анализе и интерпретации всей имеющейся геолого-геофизической, в том числе сейсмической, информации по продуктивному или перспективному геологическому объекту на площади исследования.

Аналізу фактического материала всегда предшествует подготовительный этап, целью которого является получение общих сведений об исследуемом объекте, а именно: детальный анализ палео-

географии, региональной стратиграфии, истории тектонического развития изучаемой территории, а также информации по объектам-аналогам [10].

Для создания полной картины, отражающей условия седиментации и геологические особенности изучаемого объекта, необходимо использовать разнородную геолого-геофизическую информацию, а именно макроскопическое описание и лабораторные исследования керн, геофизические исследования скважин (далее — ГИС) и данные сейсморазведки. Каждый этап последовательно уточняет представления о процессе седиментации отложения, что в рамках интегрированного анализа позволяет создать концептуальную геологическую модель строения пласта, где седиментационная модель является наиболее критической составляющей.

Ниже приведена общая схема, отражающая основные этапы создания седиментационной модели (рис. 1).

Далее по тексту подробно описаны последовательные шаги построения седиментационной модели объекта исследования на изучаемой территории (пласт Ю2-1, Ямало-Ненецкий автономный округ).

### *Региональные сведения об объекте исследования*

В региональной стратиграфической схеме для нижне-среднеюрских отложений Западной Сибири район исследования входит в Обь-Тазовскую фациальную область, которая представлена преимущественно прибрежно-морскими отложениями с участием дельтовых и континентальных фаций [6]. Тюменская свита подразделяется на три подсвиты: нижнюю (верхи верхнего аалена — низы нижнего байоса), среднюю (верхи верхней части нижнего байоса — низы верхнего байоса) и верхнюю (верхи верхнего байоса до нижней половины верхнего бата). Изучаемый интервал относится к верхней части тюменской свиты и приурочен к малышевскому горизонту, на территории исследования индексируется как пласт Ю2-1. Отложения пласта представлены переслаиванием темно-серых глин, глинистых песчаников, алевролитов и мелкозернистых песчаников, часто с буроватым оттенком, с прослоями углей [1].

Согласно палеогеографическим схемам байоса и бата, площадь работ находилась в области мелкого моря глубиной менее 25 м (рис. 2). Формирование отложений в батский век происходило во время постепенной равномерной трансгрессии

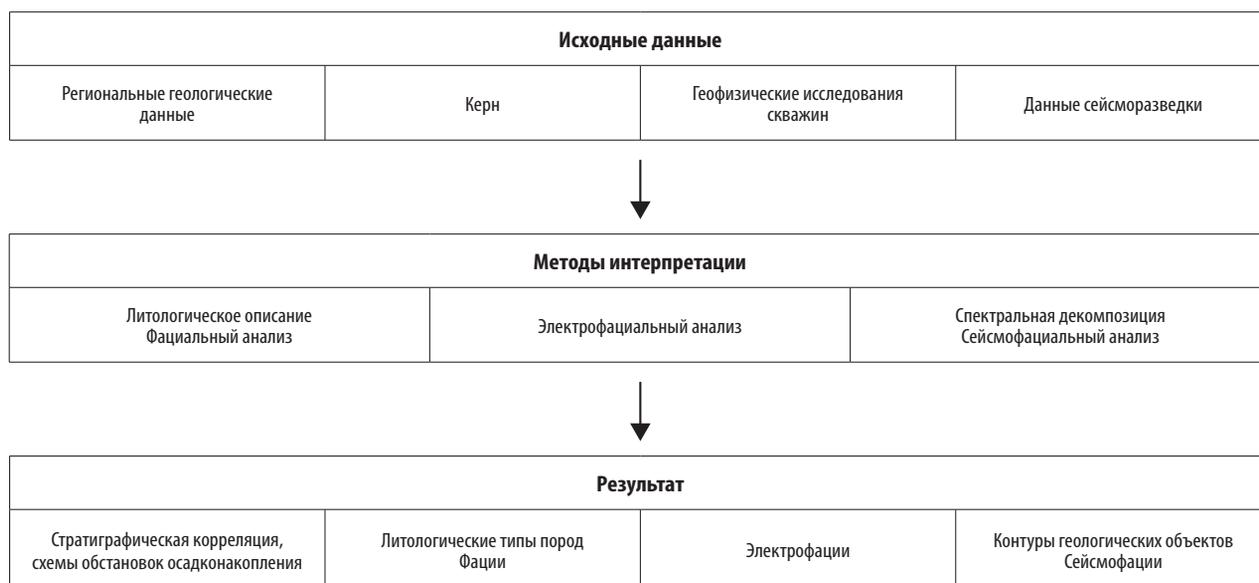


Рис. 1. Общая схема создания седиментационной модели

Fig. 1. General flowchart of the sedimentation model development

к баженовскому времени [7]: континентальные отложения аллювиально-озерно-болотных равнин сменялись прибрежно-континентальными и дельтовыми, которые в дальнейшем перекрывались прибрежно-морскими отложениями, а на заключительном этапе — мелководно-морскими.

Исходя из геологических предпосылок и данных по объектам-аналогам, предполагаемая седиментационная модель для объекта исследования на изучаемой площади — модель приливно-отливной по бережке, где накопление осадков происходило в обстановке приливно-отливной равнины — участка морского берега, заливаемого во время прилива (рис. 3, а).

#### Фациальный анализ керна

Анализ фактического материала начинается с детального макроскопического описания керновых данных и позволяет предположить, в каких условиях формировались отложения изучаемого геологического разреза. На основе диагностических признаков пород (текстура, структура, минеральный состав и органические остатки) определяются их литологические, а после фациальные типы. Согласно выбранной для проекта классификации, фациям присваивается название, дается их описание и кодируются для загрузки в специализированное программное обеспечение.

В данной работе использовались фотографии, по которым выполнено детальное описание керна по двум скважинам. По результатам работ выделены четыре фации: песчаник с массивной текстурой или крупной косою слоистостью приливно-отливных каналов и баров; песчано-глинистые интервалы с преобладанием песчанистой фракции,

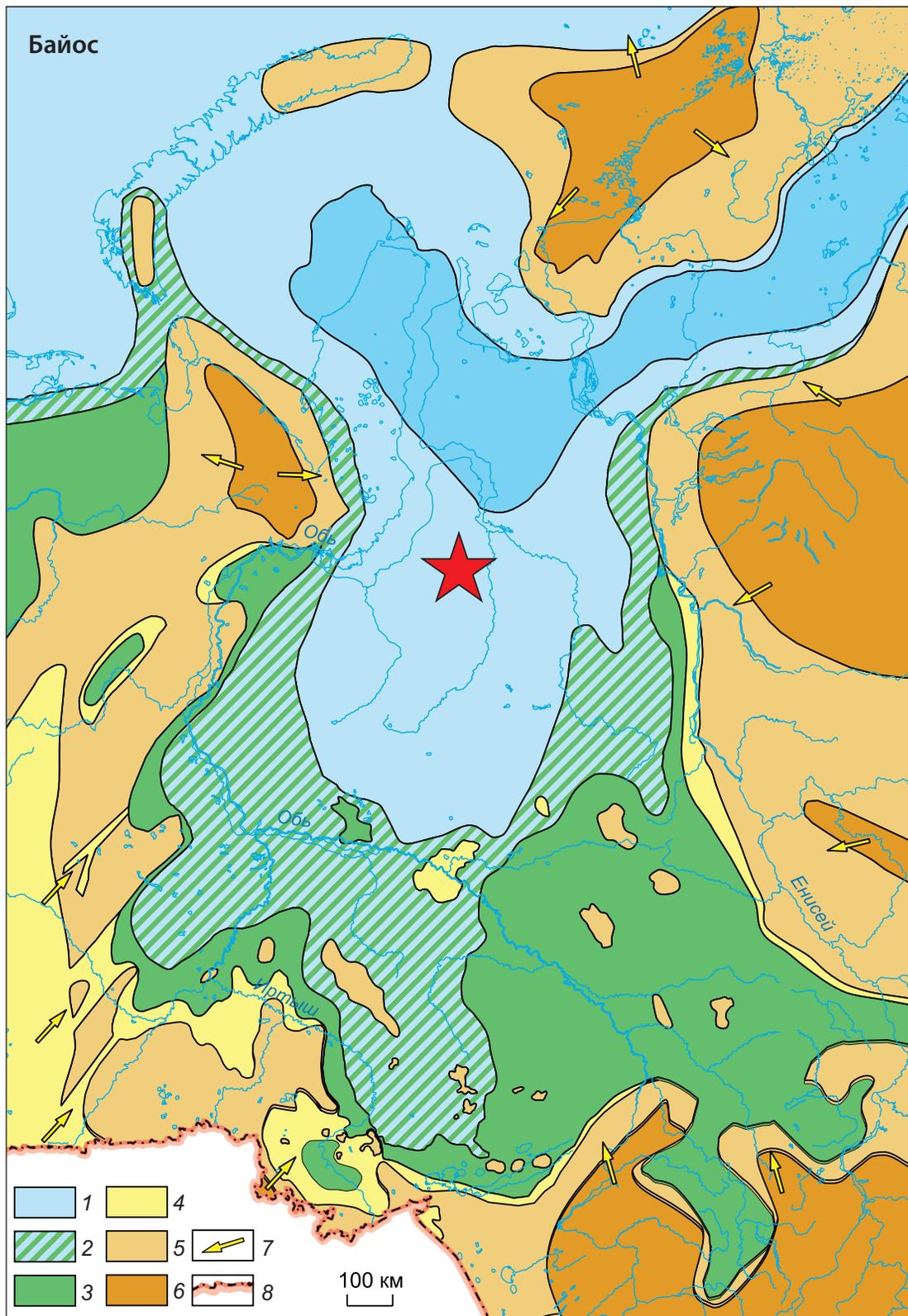
с приливно-отливными текстурами смешанной приливно-отливной отмели; интервалы с преобладанием глинистых пород приливно-отливной отмели; углисто-глинистые интервалы заболоченных маршей (рис. 4).

Однако важно отметить, что на практике определение геометрии и морфологии продуктивных тел, ассоциации с интервалами коллекторов только по изучению и установлению фациальных последовательностей по данным керна не позволяет получить полное и достоверное представление о строении и обстановках осадконакопления исследуемого интервала по месторождению в связи с отсутствием кернового материала во многих скважинах или с его неполным выносом, а также часто неполным освещением и неравномерным покрытием скважин с керном по площади изучаемых месторождений.

#### Анализ данных геофизических исследований скважин

Для уточнения фациальной интерпретации керновых данных и получения информации по всему геологическому разрезу и по всем пробуренным скважинам (в том числе без отбора керна) с целью уточнения строения продуктивных пластов привлекают данные ГИС. Наиболее популярным среди отечественных методов для целей литолого-фациальных построений является методика электрофациального анализа, разработанная В. С. Муромцевым [8].

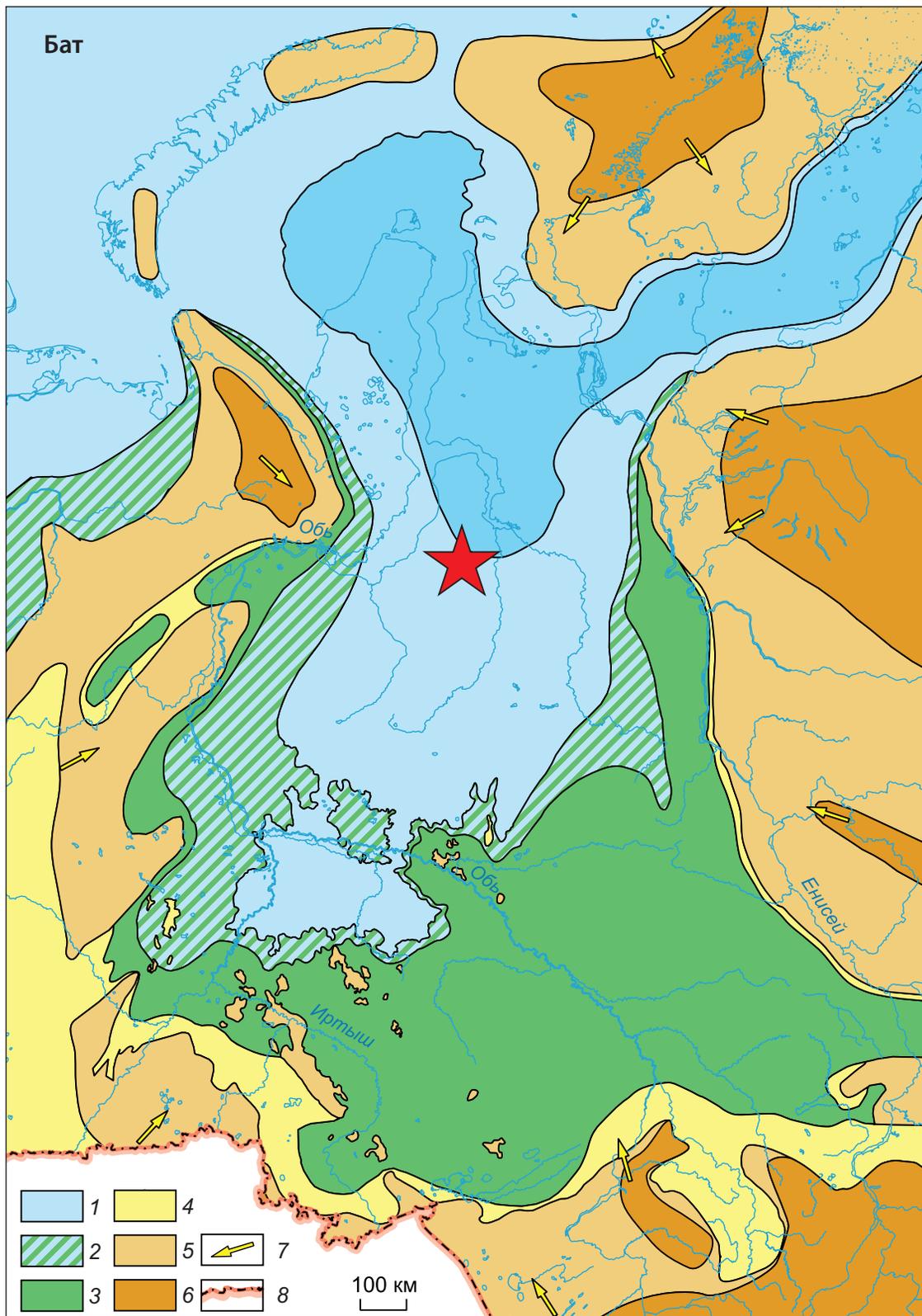
В рамках электрофациальной интерпретации данных скважинных исследований была создана база данных каротажей (в основном гамма-каротаж и индукционный каротаж; на объекте исследования данные каротажа самопроизвольной поляризации считаются малоинформативными и не используются



**Рис. 2. Палеогеографические схемы Западной Сибири, байос, бат**

1–6 — палеогеографические области: области морского осадконакопления: 1 — море мелкое глубиной менее 25 м; области переходного осадконакопления: 2 — равнина прибрежная, временами заливавшаяся морем (осадки пойменные, озерно-болотные, русловые, дельтовые, береговых баров, пляжевые); области континентального осадконакопления: 3 — равнина низменная, аккумулятивная (осадки русел, пойм, озер), 4 — равнина денудационно-аккумулятивная; области размыва: 5 — равнина возвышенная (денудационная суха), 6 — горы низкие; 7 — главные направления сноса обломочного материала; 8 — государственная граница

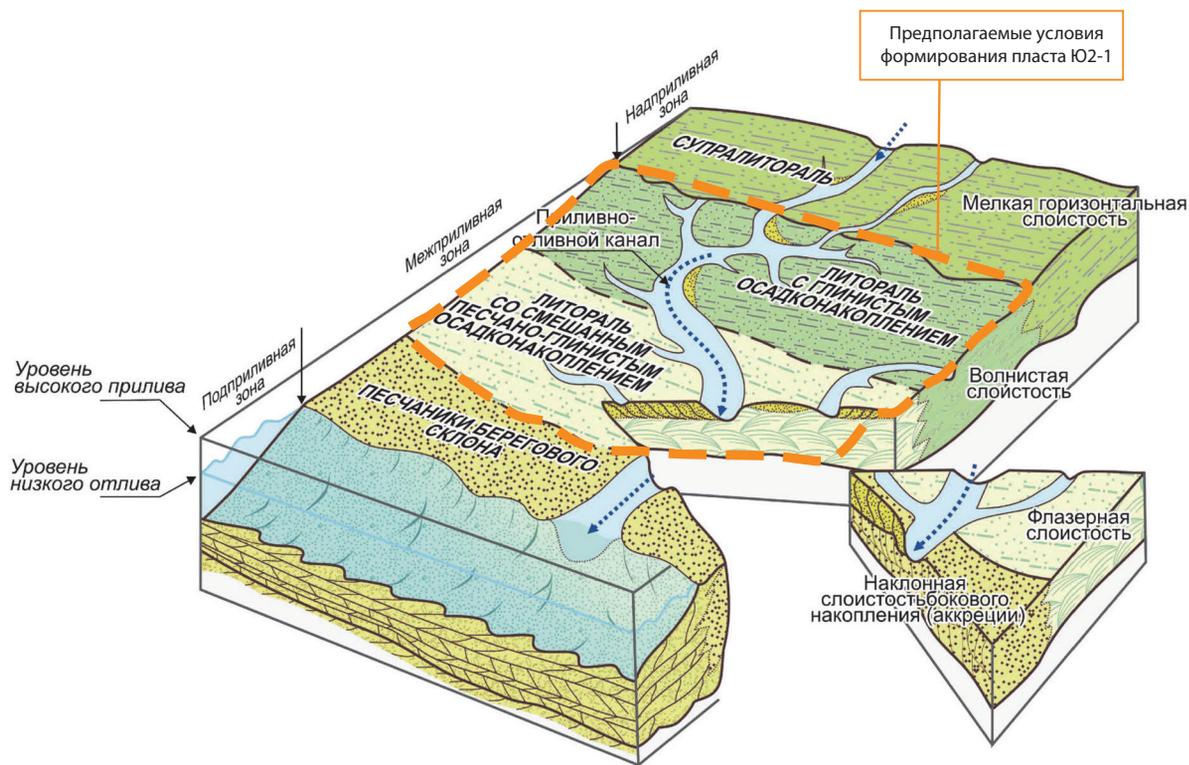
Источник: по [7]



**Fig. 2. Paleogeographic maps of Western Siberia, Bajocian, Bathonian**

1–6 — paleogeographic areas: marine deposition areas: 1 — shallow sea, up to 25 m in depth; transitional deposition areas: 2 — coastal plain, periodically inundated by the sea (floodplain, swampy-lacustrine, channel, deltaic, barrier bar, beach facies); continental deposition areas: 3 — low-lying depositional plain (channel, floodplain, lacustrine facies), 4 — erosional-depositional plain; erosion areas: 5 — elevated plain (erosional land), 6 — low mountains; 7 — direction of clastic sediment supply; 8 — state border

Source: from [7]



a



b

в рамках интерпретации ГИС) по всему фонду скважин. Затем интервалы отбора керна привязывались к интервалам записи каротажа для сопоставления физических характеристик разреза с литогенетическими типами отложений, выделенными по макроскопическому описанию керна, и, как следствие, определялись типовые формы каротажных кривых путем сравнения с электрометрическими моделями известных фаций, а также выделенными фаціальными разностями на собственном керновом материале по опорным скважинам.

Таким образом, на основе формы каротажной кривой, данных соседних скважин с керном и палеогеографических представлений о регионе выполнялось фаціальное расчленение разреза по данным ГИС.

**Рис. 3. Предполагаемая седиментационная модель объекта исследования**

a — принципиальная схема распределения полигенных осадков на приливно-отливной равнине; b — схематичное распределение среднеюрских отложений на современном приливно-отливном побережье р. Шельды, Нидерланды

Источник: a — по В. А. Жемчуговой\*; b — по "Zeeland, Netherlands\*\*", измененные данные Copernicus Sentinel (2020 г.), обработанные ©ESA, используемые по лицензии CC BY-SA 3.0 IGO

**Fig. 3. The proposed sedimentation model of the research object**

a — general layout of polygenic sediments distribution on a tidal plain; b — schematic distribution of the Middle Jurassic deposits on the modern Scheldt River tidal coast, the Netherlands.

Source: a — by V. A. Zhemchugova\*; b — from Zeeland, Netherlands\*\*, modified Copernicus Sentinel data (2020), processed by ©ESA, used under CC BY-SA 3.0 IGO

\*Жемчугова В. А. Практическое применение резервуарной седиментологии при моделировании углеводородных систем : учеб. пособие для вузов. М. : Рос. гос. ун-т нефти и газа имени И. М. Губкина, 2014. 344 с.

\*\*Zhemchugova V. A. Practical application of reservoir sedimentology in modeling hydrocarbon systems: Manual for undergraduate students. Moscow: Nat. Univ. of Oil and Gas "Gubkin University"; 2014. 344 p.

\*\*URL: [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2020/10/Zeeland\\_Netherlands](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/10/Zeeland_Netherlands) (дата обращения: 28.04.2025)

\*\*URL: [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2020/10/Zeeland\\_Netherlands](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/10/Zeeland_Netherlands) (accessed 28.04.2025)

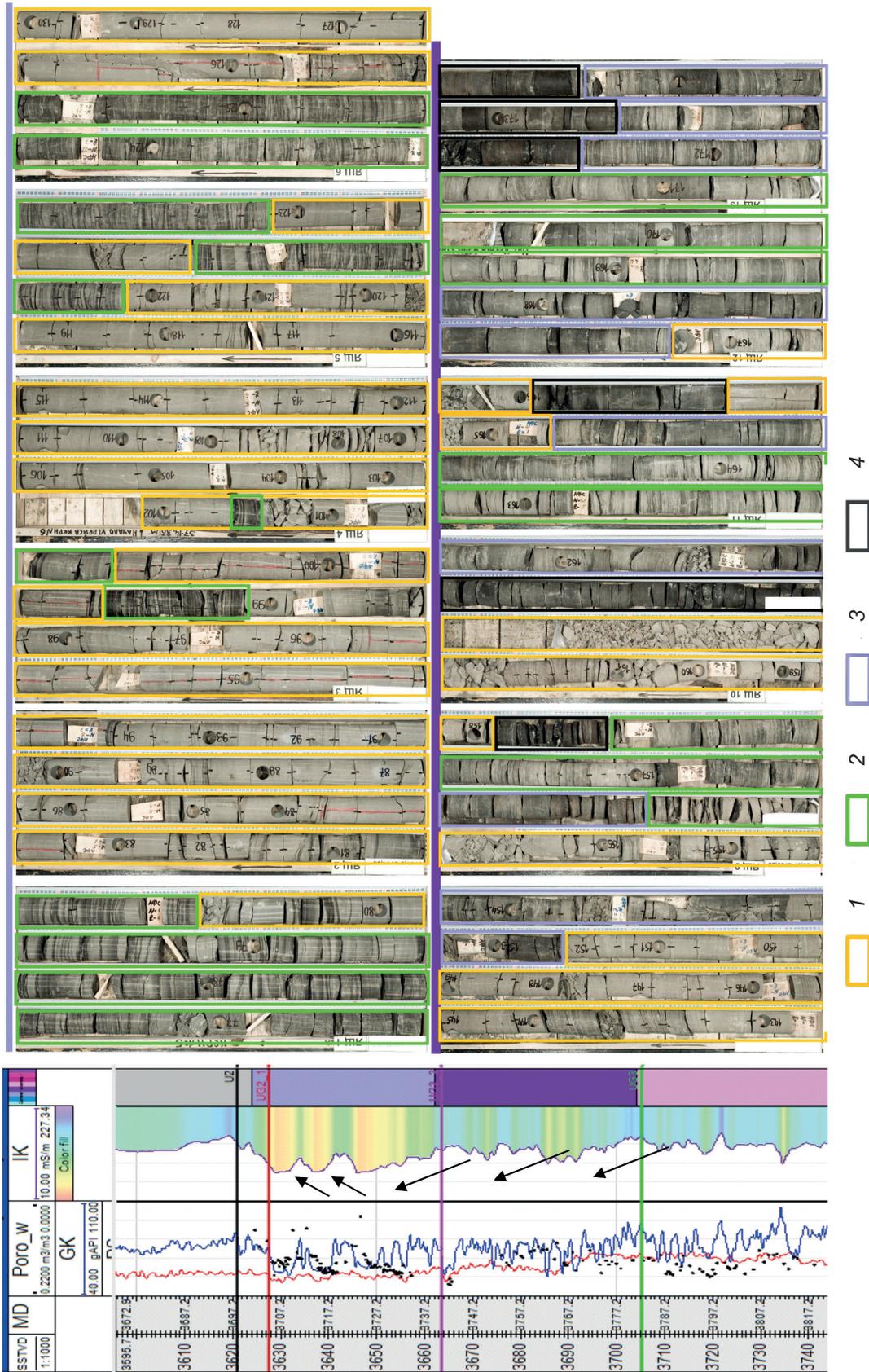


Рис. 4. Анализ кернового материала по одной из скважин

1 — каналы и прирусловые бары; 2 — смешанная песчано-глинистая приливоно-отливная отмель; 3 — глинистая приливоно-отливная отмель; 4 — марши

Fig. 4. Analysis of core material from a well

1 — channels and point bars; 2 — mixed sandy-clay tidal flat; 3 — clay tidal flat; 4 — marshes

В рамках объекта исследования принято выделение трех фациальных разновидностей, характеризующихся контрастными формами и свойствами по данным ГИС. По сравнению с выделением согласно макроскопическому описанию керна, фации заболоченных маршей и глинистых приливно-отливных отмелей были объединены в одну макрофацию для определения по ГИС (рис. 5).

Совместно с выделением макрофаций по ГИС выполняется стратиграфическая корреляция скважинных разрезов всего фонда скважин объекта исследований. Стратиграфическая корреляция по скважинным данным в интервале юрской части разреза проводилась согласно хроностратиграфическому подходу — выделялись трансгрессивно-регрессивные циклы.

В результате выполнения данного этапа удалось уточнить закономерности пространственного распределения фациальных разновидностей для целевого пласта и выявить особенности его геологического строения по всем скважинам, имеющимся на территории исследования.

### Сейсмический анализ на качественном уровне

На прошлых этапах работы с кернавой и геофизической информацией по скважинам были получены

представления о распространении фациальных разновидностей в точках скважин, однако их поведение и распространение в пространстве остается на уровне подходов к моделированию. Так, основной недостаток описанных ранее подходов заключается в использовании различных методов интерполяции для прогнозирования фаций в межскважинном пространстве. С большей степенью уверенности заполнить фациальное районирование в межскважинном пространстве, выделить геологические объекты и локализовать перспективные зоны позволяют результаты качественной или количественной при обоснованной возможности интерпретации сейсмических данных [9]. К наиболее часто используемым подходам сейсмического анализа на качественном уровне относятся: спектральная декомпозиция, расчет сейсмических атрибутов и сейсмофациальный анализ.

Спектральная декомпозиция волнового поля — это метод разложения сейсмического сигнала на частотные составляющие. Данный подход имеет широкое применение при изучении и картировании геологических объектов, в особенности руслового генезиса. Важным вопросом является способ визуализации результатов спектральной декомпозиции. Наибольшую популярность получила технология RGB-суммирования, в основе которой лежит визуальное смешивание результирующих кубов с различным частотным составом при помощи многомерной

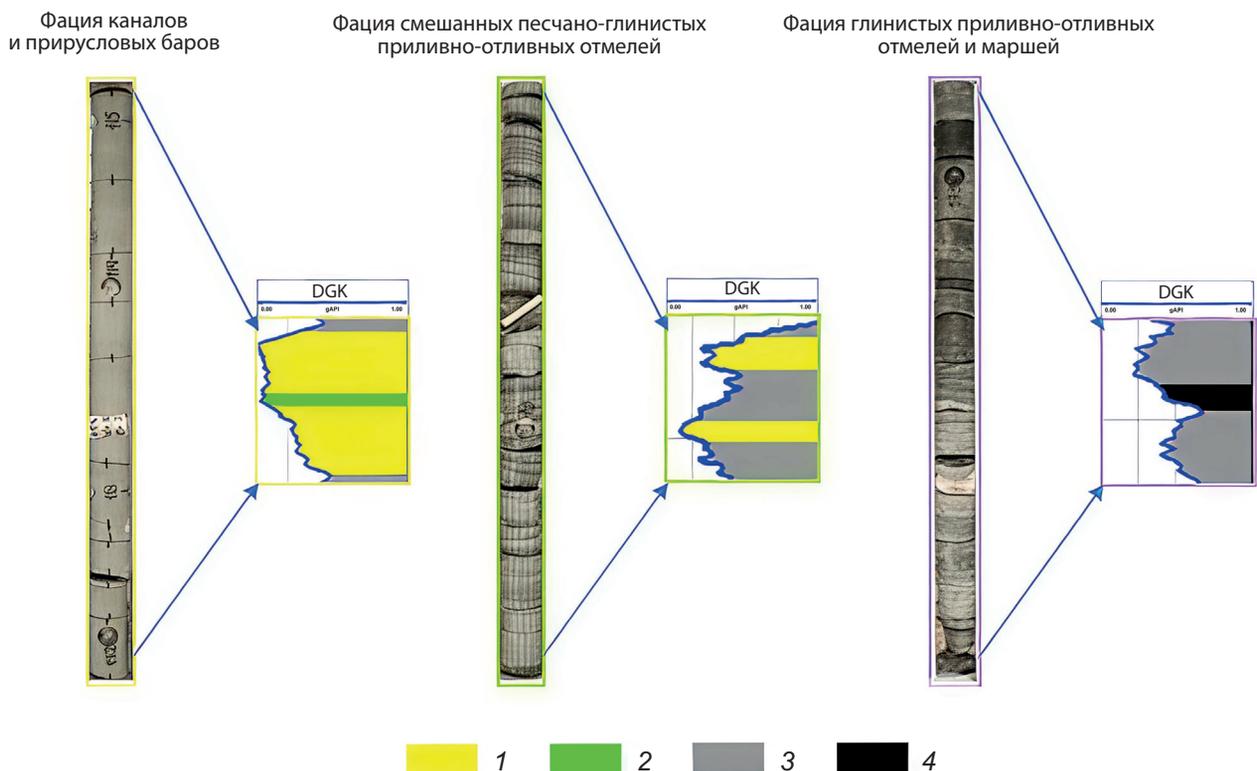


Рис. 5. Сопоставление фаций, выделенных по керну, с электрофациями

1 — песчаник; 2 — карбонатизированный песчаник; 3 — глина; 4 — уголь

Fig. 5. Comparison of core facies, with electrofacies included

1 — sandstone; 2 — carbonatized sandstone; 3 — clay; 4 — coal

цветовой палетки RGB (Red, Green, Blue — красный, зеленый, синий).

В рамках анализа сейсмического материала на площади исследования по результатам спектральной декомпозиции были выделены: заглинизированные русла, которые потенциально могут выступать локальными литологическими экранами при формировании залежей углеводородов; приливно-отливные каналы и, как следствие, приуроченные к ним песчаные баровые тела; и потенциальные области заболоченных маршей. На рис. 6, *a* представлен пример результата спектральной декомпозиции, а именно срез цветовой суммы в интервале тюменской свиты с выделенными геологическими объектами.

Среднеюрские отложения отличаются достаточно значительной фациальной изменчивостью в связи с гетерогенным строением, существенной неоднородностью отложений по площади исследований.

Уточнить положение геологических тел в пространстве позволяют результаты атрибутного анализа. В данной работе наиболее эффективными оказались амплитудные атрибуты сейсмической записи. Так, на рис. 6, *b* представлена карта максимальных значений амплитуд, рассчитанная в интервале пласта Ю2-1 тюменской свиты. На ней прослеживаются заглинизированные каналы и выделяются зоны маршей, которым соответствуют пониженные значения амплитуд, а также прирусловые бары, выраженные областями повышенных значений амплитуд.

Другой технологией, активно и успешно применяющейся для картирования фациальных зон, а также для целей геологической интерпретации сейсмических данных, является сейсмофациальный анализ. В основе данного анализа лежит предположение о том, что изменение литологического состава пород, их петрофизических свойств и условий образования



Рис. 6. Карта цветовой суммы результата спектральной декомпозиции вблизи кровли пласта Ю2-1 (а): 1 — заглинизированные каналы, 2 — марши, 3 — прирусловые бары; карта максимальных значений амплитуд (б) и карта сеймоклассов (с) в интервале пласта

Fig. 6. Color sum map of the spectral decomposition result near the Middle Jurassic layer roof (a): 1 — mudded channels, 2 — marshes, 3 — point bars; maximum amplitude values map (b) and seismic classes map (c) in the reservoir interval

влияет на конфигурацию (форму волнового сигнала в интервале пласта) и динамические характеристики сейсмической записи.

Согласно работе [10], сейсмофациальный анализ включает три основных этапа. На первом этапе в соответствии с общими представлениями об обстановках осадконакопления формируются гипотезы о возможном наличии каких-либо контрастных геологических объектов. Как правило, качественный анализ на данном этапе позволяет обнаружить наиболее явные особенности сейсмической записи по вертикальным сечениям или временным слайсам. На втором этапе уточняется гипотеза о седиментационной ассоциации (наборе фациальных разностей и взаимном положении их друг с другом). Основная задача интерпретатора состоит в выявлении целостной системы объектов, определении их взаимного расположения в плане. Третий этап связан с геологической интерпретацией полученных результатов и заключается в картировании литофаций, составлении схем обстановок осадконакопления и карт распространения отдельных фаций в соответствии с общей историей развития бассейна породообразования.

На практике для решения задач сейсмофациального районирования применяются алгоритмы классификаций. Классификация может проводиться на основе карт сейсмических атрибутов, извлеченных вдоль определенного горизонта, погоризонтных и пропорциональных срезов или по форме сейсмической записи. Для расчета карты сейсмофаций в работе использовался первый подход. В процессе выполнения классификационного анализа всегда возникает задача определения достаточного числа классов, которые, в свою очередь, часто напрямую могут быть ассоциированы с различными фациальными геологическими разностями (зонами преимущественного развития, преобладания). Данный параметр не является постоянным и варьируется в зависимости от геологических условий изучаемой площади, при этом в случае малой изученности участка работ бурением уверенно определить действительное количество фациальных зон не представляется возможным.

С целью выполнения сейсмофациального районирования было протестировано построение карт с количеством классов от трех до пяти. Наилучшим образом отражает возможные фациальные зоны целевого пласта и согласуется с результатами спектральной декомпозиции и атрибутного анализа карта сейсмофаций, рассчитанная с использованием трех классов (рис. 6, с).

#### **Результат построения седиментационной модели пласта Ю2-1 тюменской свиты**

На рис. 7 представлена седиментационная модель, отражающая окончание формирования пласта Ю2-1 верхней подсвиты тюменской свиты в пределах района исследования. В точках скважин указаны доли фаций, которые по преобладанию песчанистой, глинистой или смешанной фракции хорошо согласуются с результатами качественной интерпретации сейсмических

данных. Стрелкой на схеме показано предполагаемое направление транспортировки осадочного материала в среднеюрское время, сопоставимое с сопредельными месторождениями региона.

В результате выполненных работ подтвердилась предполагаемая с учетом региональных геологических предпосылок седиментационная модель приливо-отливной побережья (прибрежная зона с влиянием приливо-отливных процессов (приливо-отливная равнина) и развитием канальных фаций).

Таким образом, можно сделать вывод, что формирование пласта Ю2-1 на территории исследования происходило в условиях приливо-отливной равнины в зоне литорали на участках с преобладающей глинистой и смешанной песчано-глинистой седиментацией, с проявленным развитием отложенных приливо-отливных каналов и русел, предположительно заполненных глинистым материалом (последующей трансгрессии), а также ассоциированных с ними фаций различного рода баровых тел. Основной объем песчаных разностей связан именно с развитием прирусловых баров, образовавшихся в результате латеральной аккреции. Ограничивают баровые тела заглинизированные каналы (русла). В область развития маршей, выделенную по сейсмическим атрибутам, попадают четыре скважины с преобладанием глинистой части и значительными по мощности прослоями углей в разрезе исследуемого интервала (рис. 7).

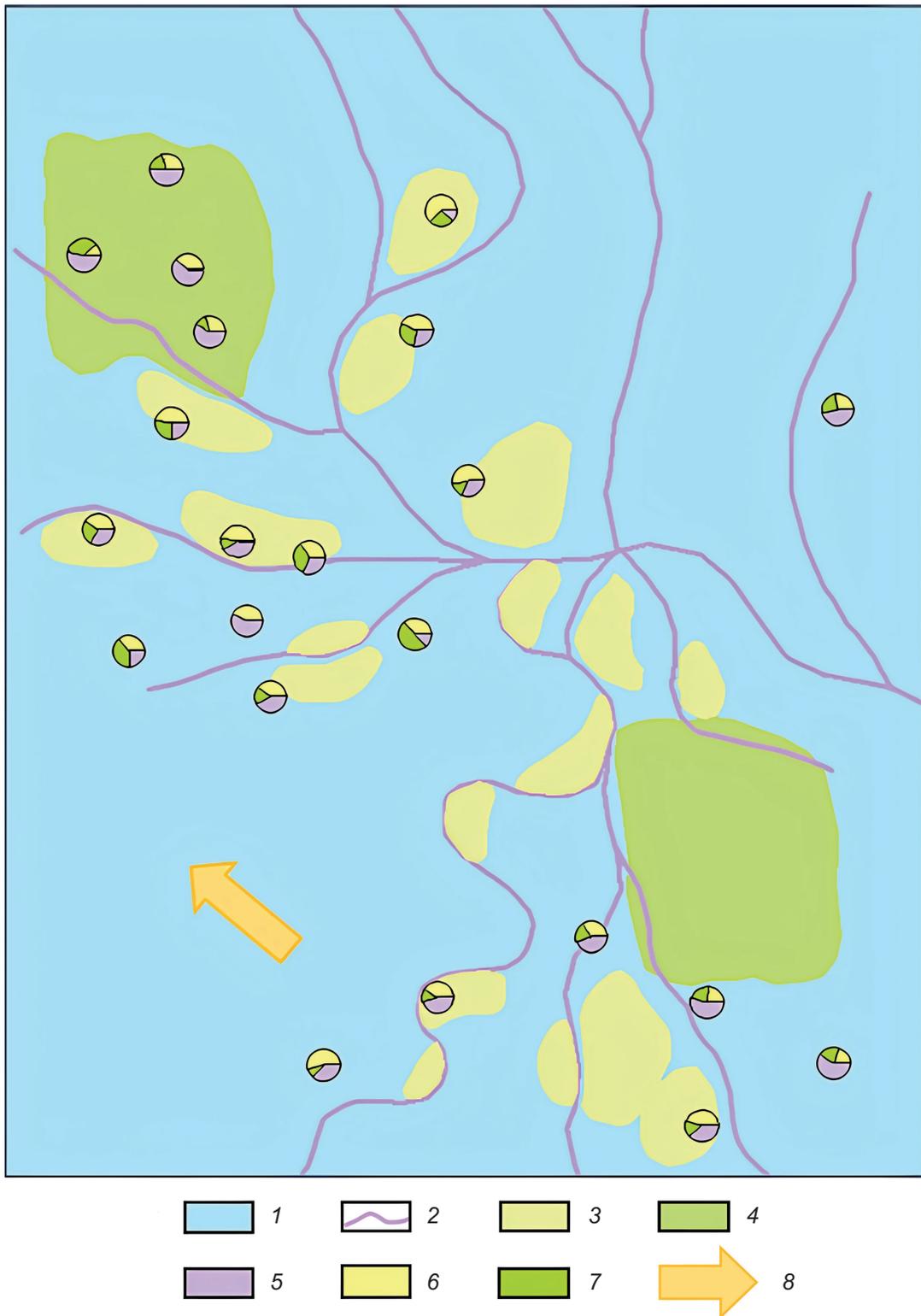
#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Комплексный анализ всей геолого-геофизической информации, включая керн и геофизические исследования скважин, совместно с данными о региональном геологическом развитии региона исследования и результатами интерпретации сейсмических материалов на качественном уровне, позволил сформировать седиментационную модель пласта Ю2-1 на одном из нефтегазоконденсатных месторождений в северной части Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна в Ямало-Ненецком автономном округе.

На первом этапе исследования были проанализированы палеогеографические схемы на момент формирования среднеюрских отложений и установлены возможные обстановки осадконакопления. Далее по результатам анализа объектов-аналогов определена предполагаемая седиментационная модель, которая уточнилась в ходе макроскопического описания керна и электрофациальной интерпретации скважинных исследований. Развитие на площади исследования каналов, баровых тел и маршей подтвердилось по данным сейсморазведки.

По результатам работ установлено, что формирование пласта Ю2-1 происходило в условиях литоральной зоны приливо-отливной равнины, где преобладает глинистая и смешанная песчано-глинистая седиментация. Песчаные тела в основном приурочены к прирусловым барам, ограниченными заглинизированными каналами.

Фациальные особенности, определенные в результате качественной интерпретации сейсмических



**Рис. 7. Седиментационная модель пласта Ю2-1 тюменской свиты**

1–4 — фации: 1 — преимущественно смешанная песчано-глинистая приливно-отливная отмель, 2 — заглинизированные каналы, 3 — приустьевые бары, 4 — марши; 5–7 — доли фаций в скважинах: 5 — глинистая приливно-отливная отмель и марши, 6 — каналы и приустьевые бары, 7 — смешанная песчано-глинистая приливно-отливная отмель; 8 — предполагаемое направление транспортировки осадочного материала

**Fig. 7. Sedimentation model of the Middle Jurassic Tyumen Formation layer**

1–4 — facies: 1 — predominantly mixed sandy-clay tidal flat, 2 — muddied channels, 3 — point bars, 4 — marshes; 5–7 — fractions of facies in wells: 5 — clay tidal flat and marshes, 6 — channels and point bars, 7 — mixed sandy-clay tidal flat; 8 — expected direction of sedimentary material transportation

данных, хорошо согласуются с фациями, выделенными по керну и данным электрофациального анализа скважинного фонда, что подтверждает прогностическую способность построенной модели и делает возможным ее использование в качестве надежной основы для будущей 3D геологической модели.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гладышева Я. И., Гладышев А. А. Перспективы юрских отложений в Надым-Пурской нефтегазоносной области. Часть I // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2011. № 5. С. 17–25.
2. Седиментационный анализ среднеюрских отложений Западной Сибири с целью построения альтернативной геологической модели залежей углеводородов / В. Н. Бородин [и др.] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2023. Т. 18, № 2. [https://doi.org/10.17353/2070-5379/17\\_2023](https://doi.org/10.17353/2070-5379/17_2023).
3. Устинова В. Н., Стариков Н. Н. Сейсмофациальные модели продуктивных отложений юры Песцового месторождения // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323, № 1. С. 137–141.
4. Штырляева А. А. Региональная корреляция и реконструкция условий формирования продуктивных пластов Ю1 и Ю2 средней и верхней юры Надым-Пурской и Среднеобской НГО (Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2016. № 2. С. 39–45.
5. Егоров А. С., Глазунов В. В., Сысоев А. П. Геофизические методы поисков и разведки месторождений / под ред. А. Н. Телегина. СПб. : С.-Петерб. гор. ун-т, 2016. 276 с. <https://doi.org/10.23682/71693>.
6. Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири, Новосибирск, 2003. Объяснительная записка. Новосибирск : СНИИГиМС, 2004. 114 с.
7. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде / А. Э. Конторович [и др.] // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 8. С. 972–1012.
8. Муромцев В. С. Электрометрическая геология песчаных тел — литологических ловушек нефти и газа. Л. : Недра, 1984. 260 с.
9. Chopra S., Marfurt K. J. Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization: SEG Geophysical

Development Series. No. 11. Tulsa, OK: Soc. of Exploration Geophysicists, 2007. 464 p.

10. Ольнева Т. В. Сейсмофациальный анализ. Образы геологических процессов и явлений в сейсмическом изображении. М. ; Ижевск : Ин-т компьютер. исслед., 2017. 151 с.

## REFERENCES

1. Gladysheva Y. I., Gladyshev A. A. Prospects of Jurassic deposits in Nadym-Pur oil-and-gas bearing area. Part I. *Oil and Gas Studies*. 2011; (5): 17–25. (In Russ.).
2. Sedimentation analysis of the Middle Jurassic strata of Western Siberia in order to construct an alternative geological model of hydrocarbon accumulations / V. N. Borodkin [et al.]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*. 2023; 18 (2): [https://doi.org/10.17353/2070-5379/17\\_2023](https://doi.org/10.17353/2070-5379/17_2023). (In Russ.).
3. Ustinova V. N., Starikov N. N. Seismic facies models of Jurassic productive sediments of Pestsovoe field. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2013; 323 (1): 137–141. (In Russ.).
4. Shtyrlyayeva A. A. Regional correlation and reconstruction of the conditions of formation of productive formations of the southern and southern Middle and Upper Jurassic of the Nadym-Purskaya and Sredneobskaya NGO (West Siberian oil and gas basin). *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*. 2016; (2): 39–45. (In Russ.).
5. Egorov A. S., Glazunov V. V., Sysoev A. P. Geophysical methods of prospecting and exploration of deposits. St. Petersburg: Saint-Petersburg Mining Univ.; 2016. 276 p. <https://doi.org/10.23682/71693>.
6. Decision of the 6th Interdepartmental Stratigraphic Meeting on the review and adoption of updated stratigraphic schemes of the Mesozoic deposits in Western Siberia, Novosibirsk, 2003. Explanatory note. Novosibirsk: SNIGGIMS; 2004. 114 p. (In Russ.).
7. Jurassic paleogeography of the West Siberian sedimentary basin / A. E. Kontorovich [et al.]. *Russian Geology and Geophysics*. 2013; 54 (8): 747–779. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.07.002>.
8. Muromtsev V. S. Electrometric geology of sandy bodies — lithological traps of oil and gas. Leningrad: Nedra; 1984. 260 p. (In Russ.).
9. Chopra S., Marfurt K. J. Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization: SEG Geophysical Development Series. No. 11. Tulsa, OK: Soc. of Exploration Geophysicists; 2007. 464 p.
10. Olneva T. V. Seismic facies analysis. Images of geological processes and phenomena in the seismic image. Moscow; Izhevsk: Inst. of Computer Research; 2017. 151 p. (In Russ.).

---

## Элина Арменовна Бадалян

Аспирант, кафедра геофизики

Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0003-9347-2006>  
SPIN-код РИНЦ 2766-8830  
s225004@stud.spmi.ru

## Ирина Геннадьевна Чернова

Инженер

Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет, Новосибирск, Россия

<https://orcid.org/0009-0009-8300-7219>  
SPIN-код РИНЦ 1271-5067  
i.chernova1@nsu.ru

## Elina A. Badalyan

Post-Graduate Student, Department of Geophysics

Saint-Petersburg Mining University,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0003-9347-2006>  
RSCI SPIN-code 2766-8830  
s225004@stud.spmi.ru

## Irina G. Chernova

Engineer

Novosibirsk State University,  
Novosibirsk, Russia

<https://orcid.org/0009-0009-8300-7219>  
RSCI SPIN-code 1271-5067  
i.chernova1@nsu.ru

## Алексей Сергеевич Егоров

Доктор геолого-минералогических наук, профессор,  
заведующий кафедрой геофизики

Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-3501-9145>  
Scopus Author ID 7202362164  
ResearcherID AAH-7037-2020  
SPIN-код РИНЦ 5299-8658  
egorov\_as@pers.spmi.ru

## Aleksey S. Egorov

DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Head,  
Department of Geophysics

Saint-Petersburg Mining University,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-3501-9145>  
Scopus Author ID 7202362164  
ResearcherID AAH-7037-2020  
RSCI SPIN-code 5299-8658  
egorov\_as@pers.spmi.ru

---

**Вклад авторов:** *Бадалян Э. А.* — концепция исследования, написание исходного текста, подготовка иллюстраций, итоговые выводы.  
*Чернова И. Г.* — подготовка дополнительных материалов, доработка текста, итоговые выводы.  
*Егоров А. С.* — научное руководство, итоговые выводы.

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

**Contribution of the authors:** *Badalyan E. A.* — research concept, writing the draft, preparation of illustrations, final conclusions.  
*Chernova I. G.* — preparing supplementary data, follow-on revision, final conclusions.  
*Egorov A. S.* — research supervision, final conclusions.

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

Статья поступила в редакцию 05.02.2025  
Одобрена после рецензирования 12.03.2025  
Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 05.02.2025  
Approved after reviewing 12.03.2025  
Accepted for publication 20.06.2025

Научная статья

УДК 624.131:553(574.52/.54+575.1+575.4)

doi.org/10.52349/0869-7892\_2025\_102\_82-92

**Прогнозная оценка  
инженерно-геологических условий  
рудных месторождений  
Центральных Кызылкумов****Г. А. Бимурзаев, А. М. Ахунжанов, Э. Ш. Курбанов**✉ГУ «Институт гидрогеологии и инженерной геологии»,  
Университет геологических наук Республики Узбекистан,  
Ташкент, Узбекистан, elboy.qurbanov@mail.ru✉**Ключевые слова:** прогнозная оценка, аналогии, осложнения, критерии, нарушения, деформации, интенсивность, трещиноватость**Для цитирования:** Бимурзаев Г. А., Ахунжанов А. М., Курбанов Э. Ш. Прогнозная оценка инженерно-геологических условий рудных месторождений Центральных Кызылкумов // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 82–92. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_82-92](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_82-92)

Original article

UDC 624.131:553(574.52/.54+575.1+575.4)

doi.org/10.52349/0869-7892\_2025\_102\_82-92

**Keywords:** predictive assessment, analogies, hazards, criteria, faults, deformations, intensity, fracturing© Г. А. Бимурзаев, А. М. Ахунжанов,  
Э. Ш. Курбанов, 2025

**Аннотация.** Рассматривается актуальность прогнозной оценки инженерно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых. Выделены объекты, где могут проявиться осложнения, выражающиеся в виде деформаций и оползания бортов карьеров, обрушения кровли подземных выработок, выдавливания пород в выработанное пространство. Определен комплекс критериев прогнозирования инженерно-геологических осложнений на шахтах и карьерах региона. Среди широко развитых на рудном поле разрывных нарушений выделяются две крупные группы: региональные разрывные структуры, пересекающие всю площадь рудного поля и выходящие далеко за его пределы, и разрывы местного характера, развивающиеся в основном в сводовой части на крыльях регионального разлома и имеющие различные размеры и направления. Структура рудных полей месторождений Центральных Кызылкумов определяется сочетанием дислокаций с дизъюнктивными нарушениями. Определены особенности рудовмещающей толщи: неоднородность переслаивания пород, неравномерное проявление в них вторичных изменений, различия физико-механических свойств, которые усложняют инженерно-геологические условия разработки месторождения. Анализ и обобщение инженерно-геологических материалов позволили составить карту прогнозной оценки инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых.

**Predictive assessment  
of ore deposit geotechnical conditions  
in the Central Kyzylkum region****G. A. Bimurzaev, A. M. Akhunzhanov, E. Sh. Kurbanov**✉SE “Institute of Hydrogeology and Engineering Geology”,  
University of Geological Sciences, Tashkent, Uzbekistan,  
elboy.qurbanov@mail.ru✉

**Abstract.** Predictive assessment of geotechnical conditions for developing mineral deposits is topical. There are identified objects where the following hazards may arise: deformations and quarry wall slip, roof caving of underground mines, and rock extrusion into the mined-out space. The analysis determines a set of criteria for predicting geotechnical hazards in the region's mines and quarries. There are two large groups of well represented faults in the ore field: regional fault structures that intersect the entire ore field area and extend far beyond it, as well as local faults mainly developed in the upper part of the region's fault wings, and having different sizes and directions. Disjunctive fault dislocation combinations determine

**For citation:** Bimurzaev G. A., Akhunzhonov A. M., Kurbanov E. Sh. Predictive assessment of ore deposit geotechnical conditions in the Central Kyzylkum region. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (2): 82–92. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_82-92](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_82-92)

the ore field structure in the Central Kyzylkum ore deposits. The ore-bearing stratum specifies heterogeneous interbedding, irregular secondary alterations, differences in physical and mechanical properties, which complicate geotechnical conditions of the deposit development. The analyzed and summarized geotechnical data contributes to creating a predictive assessment map of mineral deposits geotechnical conditions.

## ВВЕДЕНИЕ

Центральные Кызылкумы охватывают площадь горных возвышенностей Джитымтау, Бельтау, Даугызтау и Амантайтау. В геотектоническом отношении район располагается в системе складчатых сооружений Южного Тянь-Шаня, в пределах Ауминза-Бельтауской структурно-формационной подзоны Алай-Кокшаальской миогеосинклинальной структурно-формационной зоны [1]. Климат района резко континентальный, пустынный. Осадки выпадают в зимне-весенний период и составляют в среднем 120 мм в год, а в многоводный год — 160 мм. Испаряемость с открытой водной поверхности почти в 20 раз превышает среднегодовую норму осадков.

Поскольку на рудных месторождениях Центральных Кызылкумов пока не накоплены достаточно многочисленные данные, позволяющие использовать наиболее эффективные методы классификации, распознавания и др., представляется целесообразным применять в этих условиях главным образом методы аналогии, основанные на сопоставлении существующих факторов и показателей, установленных при разведке подлежащих оценке объектов, с аналогичными данными по месторождениям, уже разрабатываемым в сходных инженерно-геологических условиях [2].

Инженерно-геологическое прогнозирование по методу аналогии заключается в получении прогностической информации о природно-техногенных геосистемах путем перенесения на них значений, полученных в результате изучения природных объектов-аналогов, свойства которых с достаточной детальностью и достоверностью выяснены ранее [3]. Известный в этой области специалист Л. Б. Розовский [4] рассматривал метод аналогии как одну из разновидностей моделирования геологических систем и явлений (моделирование при помощи природных объектов). Однако в данном случае не реализуется такой важный признак моделирования, как возможность свободного оперирования моделью в исследовательских целях. Учитывая это, мы вслед за Г. С. Золотаревым, Е. П. Емельяновой и другими исследователями относим метод аналогии к особому классу прогностических процедур.

Следует более глубоко изучать процессы и явления в Центральных Кызылкумах по мере развития горных работ, а также выявлять и оценивать существенные геологические и технологические факторы этих процессов и явлений. Создание полноценной фактографической базы и систематический анализ полученных данных позволят перейти от текущих ориентировочных прогностических оценок к более

надежному, полному и достоверному многофакторному прогнозированию инженерно-геологических условий разработки рудных объектов. Весьма перспективными направлениями дальнейших работ следует считать создание автоматизированной базы данных и действующих на ее основе автоматизированных систем инженерно-геологического прогнозирования.

Главными факторами инженерно-геологических условий разработки рудных месторождений Центральных Кызылкумов выступают: наличие, ориентировка и морфология разрывных нарушений; характер сочетания разрывов о пликтивные структуры; трещиноватость; наличие и характер тектонитов (дезинтегрированных пород, глинок трения, милолитов и др.); физико-механические свойства пород; процессы выветривания; гидрогеологические условия и др.

Основной задачей инженерно-геологического прогнозирования является выявление участков рудных полей, в пределах которых при разработке месторождений могут возникать те или иные инженерно-геологические осложнения. С этой целью, исходя из принципов прогнозирования по методу аналогии, могут и должны использоваться структурно-тектонические, физико-механические, гидрогеологические и другие критерии прогнозирования осложнений [5].

Объектами изучения стали осадочные и метаморфические образования, как наиболее распространенные при разработке на значительных глубинах.

Исходя из разнообразия геолого-структурного строения и инженерно-гидрогеологических условий горнодобывающих районов Узбекистана, а также связанных с ними различных типов и видов геологических процессов, образующихся при разведке и разработке месторождений твердых полезных ископаемых, прогнозирование зоны формирования инженерно-геологических процессов (далее — ИГП) рассматривается в двух аспектах: региональном и локальном. Региональное прогнозирование необходимо при планировании и расположении горнорудных сооружений [6]. При этом на площади карьерного или шахтного поля выделяются участки или зоны, охватывающие сравнительно большие площади, имеющие условия для образования возможного развития ИГП. Задачей локального прогноза является выделение отдельных зон формирования ИГП в горных выработках внутри региональной выделенной зоны для разработки мероприятий по приведению выработки в неопасное или малоопасное состояние [7].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для прогнозной оценки инженерно-геологических условий в настоящее время используются натурно-экспериментальные методы, а также методы математического, физического, физико-химического моделирования, распознавания, классификации, аналогии, интерполяции, экстраполяции, учета симптомов, экспертных оценок и т. д.

Для решения вопросов, связанных с прогнозом деформаций в горных выработках во времени, могут быть использованы методы аналогии и аналитических расчетов. Метод аналогии заключается в переносе инженерно-геологических данных, полученных при эксплуатации различных шахт и карьеров, на разведываемые месторождения, имеющие примерно аналогичное геологическое строение (условия залегания и литологический состав пород, обводненность и пр.) и сходные реологические показатели пород. Метод аналогии имеет наибольшее значение как предварительный метод, позволяющий уже на ранних стадиях разведки в первом приближении предсказывать те инженерно-геологические явления, которые могут возникнуть при разработке месторождений открытым способом при ведении горных работ. Он также позволяет оценивать необходимость осушения месторождений или других мероприятий для повышения устойчивости пород в горных выработках [8].

Исследования проводились на специально отобранных образцах слюдисто-углеродисто-кварцевого алевролита и кварцево-сланцевого метаморфизованного аргиллита (соответственно из шахтного горизонта +600 м месторождения Косманачи и карьера месторождения Мурунтау, относящихся к бесапанской свите ( $P_{1-2}bs^3$ )), а также филлитовидных сланцев (из шахтного горизонта +345 м), филлитовидных сланцев черного и желтовато-серого цвета, глиноподобной породы (из горизонта +225 м), углеродисто-кремнистого сланца (из шахтного горизонта +285 м месторождения Дж, относящегося к таскаганской свите ( $P_2ts$ )).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определены реологические характеристики горных пород в уплотненных глинах, аргиллитах, алевролитах и песчаниках (табл. 1). Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования развития деформаций пород во времени на глубоких горизонтах горнодобывающих предприятий Средней Азии. Для решения этой задачи применимы принципы аналогии.

Поскольку развитие пластических деформаций пород во времени в основном определяется их реологическими свойствами, следует считать, что при близких значениях реологических показателей  $\beta$  и на одних и тех же глубинах, т. е. при примерно одинаковом горном давлении, пластические деформации пород будут носить один и тот же характер. Реологические свойства аргиллитов и алевролитов Донбасса и Центральных Кызылкумов сходны между собой (табл. 1).

### Критерии прогнозирования осложнений

Для прогнозирования были использованы структурно-тектонические, литолого-петрографические, физико-механические (в том числе реологические), гидрогеологические и другие критерии прогнозирования осложнений. Прогнозная оценка инженерно-геологических условий месторождений осуществляется на основе комплексного подхода к критериям прогнозирования осложнений. При инженерно-геологической оценке трещиноватости учитывались основные системы тектонических трещин в пределах региона, характер их ориентировки основных систем трещин параллельно дизъюнктивам, углы их падения и разломов в основном совпадают и составляют 60–80°. При взаимно перпендикулярном расположении трещины чаще имеют крутые углы падения.

*Структурно-тектонические критерии прогнозирования осложнений.* К числу структурно-тектонических критериев прогнозирования инженерно-

Таблица 1

### Средние значения характеристик ползучести для пород Центральных Кызылкумов и Донецко-Макеевского геолого-промышленного района Донбасса

Table 1. Mean values of rock creep characteristics in the Central Kyzylkum region and Donetsk-Makeevka geological and industrial region of Donbass

Район	Порода	$\beta_{ср}$	$\chi_{ср}$	$\chi/\beta$
Донецко-Макеевский	Уплотненные глины	0,59	0,11	0,18
Центральные Кызылкумы		0,47	0,06	0,13
Донецко-Макеевский	Аргиллиты	0,70	0,06	0,08
Центральные Кызылкумы		0,36	0,05	0,13
Донецко-Макеевский	Алевролиты	1,01	0,14	0,14
Центральные Кызылкумы		0,67	0,03	0,04
Донецко-Макеевский	Песчаники	0,417–1,521	0,05–0,18	0,12
Центральные Кызылкумы		0,329	0,01	0,03

геологических осложнений отнесены наличие и характер тектонитов в разной степени механически разрушенных пород, принадлежащих к поверхностям сместителей (тектонические брекчии, глинки трения, лимониты). Важно выявлять наиболее интенсивно дезинтегрированные, сильно обводненные тектониты, с которыми могут быть связаны такие нежелательные инженерно-геологические осложнения, как выдавливание или даже прорывы породных масс в выработанное пространство.

Сопоставление реологических показателей сланцевой толщи с данными по Донецкому бассейну позволило оценить степень ползучести  $\varphi/\beta \approx 0,1$  как весьма слабую. Исключение в этом отношении составляют филлитовидные сланцы, для которых реологический показатель составил 0,5, что свидетельствует о высокой степени ползучести. При замачивании в шахтной воде степень ползучести пород при прочих равных условиях возрастет не во всех случаях.

Наиболее высокой ползучестью обладают углестые и глинистые породы. Установлено, что при глубине разработки полезных ископаемых в Центральных Кызылкумах (свыше 300 м) отмечается выдавливание вмещающих пород в горные выработки, которое должно учитываться при проектировании и эксплуатации глубоких шахт и карьеров. Наиболее высокой ползучестью, особенно при увлажнении в глубоких горизонтах, обладают метаморфизованные кварцево-сланцевые аргиллиты, филлитовидные сланцы и глиноподобные породы. С учетом реологического показателя подсчитанные расчетные значения длительной прочности горных пород отличаются от значений временного сопротивления сжатию, полученных в лабораторных условиях, на 2,2 МПа. Длительная прочность наиболее крепких пород изменяется от 88,5 до 137,1 МПа, для слабых разновидностей пород — от 1,8 до 16,4 МПа. С увеличением времени длительная прочность приближается к постоянно действующей нагрузке. Наиболее неблагоприятные условия связаны с широким распространением слабых и ползучих пород.

Рудные месторождения Центральных Кызылкумов, как правило, генетически и пространственно приурочены к элементам дизъюнктивной тектоники. Это обстоятельство определило большую роль разрывных нарушений как основного или одного из главных факторов возникновения инженерно-геологических осложнений.

В связи с этим при прогнозной инженерно-геологической оценке разведываемых и эксплуатируемых рудных месторождений необходимо выявлять, картировать и учитывать участки с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями, связанные с особенностями дизъюнктивной тектоники:

- сопряжение нескольких крупных разломов, ориентированных в разных направлениях, и сопутствующих им разрывов;

- совпадение простирания разрывов с ориентировкой борта карьера или ограничения подземной выработки при угле падения нарушений в сторону выработанного пространства;

- сочетание разрывных нарушений, сместители которых круто наклонены в направлении выработок, с интенсивно расслоенными, крутопадающими (особенно в сторону выработанного пространства) толщами осадочных и метаморфических пород.

При наличии перечисленных условий необходимо предусматривать возможность интенсивной деформации бортов карьеров и возникновение опасных обрушений пород в выработанное пространство подземных горных выработок.

На месторождениях Центральных Кызылкумов большинство тектонических нарушений типа надвигов, сбросов и сдвигов имеют преимущественно северо-восточное и северо-западное простирание, крутое падение и относительно небольшие амплитуды смещений. Зоны дробления мощностью до 10 м и более, независимо от расположения по отношению к бортам карьеров или горным выработкам, являются потенциально неустойчивыми участками, при вскрытии которых на бортах постоянно могут развиваться обвально-осыпные явления.

На участках, где разрывные нарушения имеют зоны дробления менее 1 м, основную роль играет их расположение по отношению к бортам карьера. При расположении таких нарушений параллельно бортам и падении их в сторону выемки самыми неблагоприятными в отношении устойчивости являются углы падения, близкие к углам наклона борта, но не более 75°. Такие зоны дробления могут служить плоскостями скольжения для крупных нарушений.

Нарушения, расположенные перпендикулярно бортам, не оказывают существенного влияния на устойчивость массива, однако близкое расположение разрывов на бортах может привести к небольшим местным осыпным явлениям.

Инженерно-геологические осложнения, обусловленные тектоническими факторами, фиксируются и могут проявиться на месторождениях Кос, Дж, Мютенбай, Высоковольное.

Важное значение при прогнозировании инженерно-геологических осложнений имеет всесторонний учет характера развития в породах трещиноватости, независимо от генезиса последней. Такому учету подлежит тектоническая трещиноватость, трещиноватость выветривания, развитая в приповерхностных горизонтах месторождений и в значительной мере унаследованная от тектонической, а также искусственная трещиноватость. Наличие зон интенсивно развитой трещиноватости служит причиной образования поверхностей ослабления в массивах горных пород и, соответственно, причиной деформации бортов карьеров, массового обрушения пород, слагающих кровлю подземных горных выработок в выработанное пространство [9].

При инженерно-геологической оценке трещиноватости и построении учитывающих ее прогнозов необходимо иметь в виду, что основные системы тектонических трещин в пределах региона обычно ориентированы параллельно или перпендикулярно по отношению к простиранию разломов. При ориентировке основных систем трещин параллельно дизъюнктиву углы падения трещин и разломов в основном совпадают и составляют от 60 до 80°.

При взаимно перпендикулярном расположении чаще имеют место крутые углы падения трещин, примерно такие же, как и при параллельном (табл. 2).

Установленные закономерности изменчивости трещиноватости пород на месторождениях Дж, Кос, Мютенбай, Кокпатас, Высоковольное, Косманачи и других позволяют считать, что с возрастанием глубины параметры трещиноватости могут изменяться в зонах разрывов и вблизи них. Наиболее серьезные инженерно-геологические осложнения

следует прогнозировать в местах, где горными выработками вскрываются интенсивно трещиноватые породы, пространственно и генетически связанные с разломами и характеризующиеся повышенными значениями коэффициента трещинной пустотности (далее — КТП).

Интенсивность трещиноватости в горных породах закономерно связана с расстоянием участков ее развития от тектонических разломов (табл. 3).

В тех же прогностических целях следует учитывать зависимость значений КТП от принадлежности

Таблица 2

**Ориентировка трещиноватости в пространстве и относительно порождающих ее разломов**

Table 2. Fracturing location: spatial and relative to generating its faults

Объект исследования	Места замера параметров трещиноватости и разрывных нарушений	Наименование разлома	Расположение основных систем трещин по отношению к разломам	Угол падения	
				разлома	основной системы трещин
Месторождение Дж	Горизонт +405 м	Дайковый	Параллельно и перпендикулярно	62–70	56–68
		Широтный	Параллельно и перпендикулярно		63–67
		Шахетауский	Параллельно и перпендикулярно	69–73	63–72
	Горизонт +345 м	Дайковый	Параллельно и перпендикулярно	72–78	65–68
					73–80
			Широтный	Параллельно и перпендикулярно	66–71
		Шахетауский	Параллельно и перпендикулярно	65–72	62–79
					65–72
			Широтный	Параллельно и перпендикулярно	72–77
Месторождение Кос	Горизонт 1475 м	Кварцевый	Параллельно и перпендикулярно	61–65	56–69
		Амфиболитовый	Параллельно и перпендикулярно		70–78
		Средний	Параллельно и перпендикулярно	74–80	65–80
	Горизонт +395 м	Кварцевый	Параллельно и перпендикулярно	76–79	52–62
					65–80
			Амфиболитовый	Параллельно и перпендикулярно	75–80
		Средний	Параллельно и перпендикулярно	62–66	68–74
					77–80
			Амфиболитовый	Параллельно и перпендикулярно	73–78
Месторождение Мютенбай	Горизонт +380 м	Кварцевый	Параллельно и перпендикулярно	65–70	
				60–65	
		Амфиболитовый	Параллельно и перпендикулярно	73–78	73–75
	Южный	Параллельно и перпендикулярно	75–80	72–79	
				75–80	
		Северо-Мютенбайский	Параллельно и перпендикулярно	70–80	75–80
Горизонт +380 м	Южный	Параллельно и перпендикулярно	65–75	70–75	
				61–68	
	Северо-Мютенбайский	Параллельно и перпендикулярно	70–80	61–67	
Горизонт +380 м	Южный	Параллельно и перпендикулярно	65–75	66–72	
				65–73	

**Изменение значений коэффициента трещинной пустотности в зависимости от типов разрывных нарушений и удаления от них**

Table 3. The joint hollowness coefficient value changes based on fault types and their distance

Наименование пород	Коэффициент трещинной пустотности, %			
	Наименование и типы разрывных нарушений, интервал замера трещиноватости	Сброс (дайковый разлом)	Взброс (широтный разлом)	Надвиг (центральный разлом)
Горизонт +405 м				
Углеродисто-кремнистые сланцы	1) в зоне	7,9	7,0	6,1
	2) 5 м от зоны	5,6	5,3	3,5
	3) 10 м от зоны	3,6	3,2	2,4
	4) 20 м от зоны	2,1	2,0	1,6
Филлитовидные сланцы	1) в зоне	6,3	6,5	4,8
	2) 5 м от зоны	4,2	3,8	3,2
	3) 10 м от зоны	3,1	2,9	2,4
	4) 20 м от зоны	2,1	1,7	1,6
Горизонт +345 м				
Углеродисто-кремнистые сланцы	1) в зоне	8,5	6,2	4,3
	2) 5 м от зоны	5,3	5,1	3,0
	3) 10 м от зоны	3,8	3,2	2,0
	4) 20 м от зоны	3,2	1,5	1,0
Филлитовидные сланцы	1) в зоне	6,6	6,2	4,9
	2) 5 м от зоны	4,5	4,2	3,0
	3) 10 м от зоны	3,2	3,1	2,0
	4) 20 м от зоны	1,7	1,4	1,1
Глиноподобная порода	1) в зоне	6,0	5,9	5,3
	2) 5 м от зоны	–	–	–
	3) 10 м от зоны	–	–	–
	4) 20 м от зоны	–	–	–

разрывов к тем или иным морфогенетическим типам (табл. 4). К числу структурно-тектонических критериев прогнозирования инженерно-геологических осложнений можно отнести наличие и характер тектонитов в разной степени механически разрушенных породах, принадлежащих к поверхностям сместителей. Наиболее неблагоприятные условия, связанные с интенсивным развитием трещиноватости, будут иметь место на месторождениях Дж, Кос, Высоковольтное.

*Литолого-петрографические критерии прогнозирования осложнений.* При инженерно-геологической оценке рудных месторождений Центральных Кызылкумов методом аналогии необходимо учи-

тывать, что при прочих равных условиях осложнения на шахтах и карьерах преимущественно связаны с литологическими и петрографическими типами пород, которые характеризуются низкой прочностью и высокой ползучестью, а также приурочены к контактам литологических разностей пород и петрографически различным геологическим телам [8].

Механически наиболее слабыми породами рудных месторождений Центральных Кызылкумов являются филлитовидные и углеродисто-кремнистые сланцы, а также различные глиноподобные образования. Эти породы должны рассматриваться при инженерно-геологическом прогнозировании

**Изменение показателей инженерно-геологических свойств горных пород в зависимости от положения участков относительно разрывных нарушений**

Table 4. Changes in rock geotechnical properties indicators based on the sites locations against faults

Степень трещиноватости пород	Расположение участков относительно разрывных нарушений	Коэффициент трещинной пустотности, %	Категории прочности	Предел прочности на сжатие, МПа
Интенсивно трещиноватые	В зонах на расстоянии до 5 м от разломов	6,0–8,0	Слабая	До 1
		4,5–6,0	Низкопрочная	1–3
Умеренно трещиноватые	5–15 от разломов	3,0–4,5	Прочная	3–5
Слабо трещиноватые	15–20 м от разломов	1,5–3,0	Высокопрочная	5–10

как потенциально неустойчивые, склонные к разрушению, сползанию и обрушению в выработанное пространство.

Опираясь на реологические свойства горных пород, следует подробнее остановиться на вопросах прогнозирования процессов выдавливания пород в выработанное пространство на нижних горизонтах месторождений в условиях характерного для значительных глубин повышенного горного давления.

*Гипергенные критерии прогнозирования осложнений.* К гипергенным критериям прогнозирования инженерно-геологических осложнений относятся закономерности выветривания рудоносных пород в приповерхностных условиях. Опыт эксплуатации Ангрэн-Алмалыкских и других месторождений в Средней Азии показывает, что при длительном обнажении горных выработок в карьерах, шахтах и штольнях их устойчивость значительно снижается за счет выветривания и соответствующего снижения прочности пород.

Выветривание горных пород, главным образом физическое, является следствием резко континентального климата с колебаниями температур в течение суток, которые на поверхности скального массива достигают 60–70 °С, а в воздухе — 40–50 °С. При прогреве пород возникает термическое напряжение, приводящее к их расширению. При резком охлаждении формируются трещины скола и отрыва, которые на обнаженных поверхностях ослабляют верхнюю часть породного массива, что приводит к осыпным явлениям. На территории карьерного поля Алмалыкских месторождений повсеместно распространены осыпные явления. Чаще всего осыпные массы накапливаются у подножья откосов уступов, приурочены они к зонам дробления разломов сильно трещиноватых пород. В течение 5 лет на нерабочем борту Кургашинского карьера высота скопившегося осыпного материала составила от  $\frac{1}{2}$  до  $\frac{2}{3}$  высоты уступа, или в среднем 12–15 м. Угол залегания — 35–50°. Инженерно-геологические исследования практического состояния карьера на месторождениях

Центральных Кызылкумов показали, что наиболее широко здесь распространены осыпные явления, в меньшей степени — обрушения.

Аналогичные изменения (например, снижение устойчивости) возможны и на месторождениях Центральных Кызылкумов. В связи с этим прогноз устойчивости рекомендуется производить на разные периоды эксплуатации, оценивая современную устойчивость (начальный период эксплуатации) и устойчивость через 20–25 лет эксплуатации. Для оценки текущей устойчивости используется расчетный метод. Для расчета устойчивости после длительного существования горных выработок применяются данные об изменении прочностных показателей во времени, полученные на Ангрэн-Алмалыкском инженерно-геологическом полигоне, согласно которым в течение 20–25 лет эксплуатации месторождений прочностные показатели изменились (снизились) на 10–15 % (в среднем на 12 %). Поэтому расчеты на длительное время эксплуатации следует осуществлять с учетом уменьшения прочностных показателей в среднем не менее чем на 12 %. С учетом гипергенных критериев наиболее неблагоприятными могут считаться условия разработки месторождений.

*Гидрогеологические критерии прогнозирования осложнений.* При прогнозной оценке инженерно-геологических условий необходимо учитывать значительное влияние подземных вод как фактора, существенно изменяющего физико-механические свойства горных пород. Инженерно-геологические исследования, проведенные в разведочных выработках месторождений Дж, Кос, Кокпатас, Высоковольное, Мютенбай и других, позволяют сделать вывод, что на всех упомянутых месторождениях проявляются примерно одинаковые типы и сочетания деформаций пород. Однако интенсивность деформаций при прочих равных условиях в значительной степени зависит от обводненности массивов: в условиях интенсивного обводнения инженерно-геологические процессы протекают более активно, чем на других участках с равными геолого-тектоническими

и горнотехническими условиями. Это связано с тем, что при водонасыщении прочность пород падает до 25 %. Таким образом, гидрогеологический фактор намного ухудшает состояние горных выработок [10].

Необходимо учитывать значительное влияние обводненности на повышение ползучести горных пород и на возможность формирования подвижных, склонных к выдавливанию минерально-водных масс, как это было на месторождении Дж в кваршлагае 412. Осложняющее влияние гидрогеологических условий может сказаться на разработке наиболее обводненных месторождений Кос, Дж и Высоковольтное.

### **Карта прогнозной оценки инженерно-геологических условий**

Анализ и обобщение инженерно-геологических материалов позволили составить карту прогнозной оценки инженерно-геологических условий месторождений Дж, Кос (рисунок), Мютенбай и др. Эти карты представлены в двух вариантах. Первый вариант — карта районирования, на которой по интенсивности изменения инженерно-геологических условий эксплуатации открытым способом выделяются участки: неизменяющиеся, слабо изменяющиеся, очень сильно изменяющиеся. Второй вариант — собственно прогнозная карта инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых.

Результаты проведенных исследований позволили обосновать возможность практического применения методики многофакторного инженерно-геологического прогнозирования на основе комплексной оценки и учета важнейших геологических факторов.

Методика сводится к построению крупномасштабных (1:1 000 000, 1:2 000 000 и более) прогнозных карт. Общий процесс их создания заключается в следующем.

При выделении участков учитывались особенности литологического строения пород, тектонические особенности, гидрогеологические и инженерно-геологические условия, а также параметры карьера и характер изменения инженерно-геологических условий при эксплуатации месторождения. Такие карты составлены для месторождений Кос, Высоковольтное и Мютенбай.

Карта составляется по категории инженерно-геологического потенциала изменения природных условий в связи с предполагаемыми горными работами, которая основана на учете выявленных закономерностей изменения инженерно-геологических характеристик пород, развитых в них процессов, а также прогнозируемых элементов.

При составлении данной карты были использованы, кроме основных (геолого-тектонического строения, гидрогеологических условий), такие косвенные данные, как геофизические (каротажные) материалы и сведения о состоянии крепи в горных выработках.

Участки по интенсивности изменения инженерно-геологических условий подразделяются на: А — неизменяющиеся, В — слабо изменяющиеся,

С — сильно изменяющиеся, D — очень сильно изменяющиеся.

При оценке инженерно-геологического потенциала учитывается комплекс следующих факторов: состав и свойства пород, глубина залегания подземных вод, инженерно-геологические процессы и имеющиеся явления (ожидаемые обрушения и выдавливания в горных выработках).

На месторождении выделяются категории участков с различной степенью инженерно-геологической устойчивости и изменения природных и горнотехнических условий:

1. Участки с высоким ИГП сложены гранатами, углеродисто-кремнистыми сланцами, алевролитами (породы массивные), слабо трещиноватыми (КТП < 1,5 %), высокопрочными (бсж = 50–100 МПа и более), ползучесть проявляется на 300 м от поверхности земли (степень ползучести весьма слабая — до 0,1), ожидаются осыпание и вывалы горных пород, не превышающие 1–2 м<sup>3</sup>.

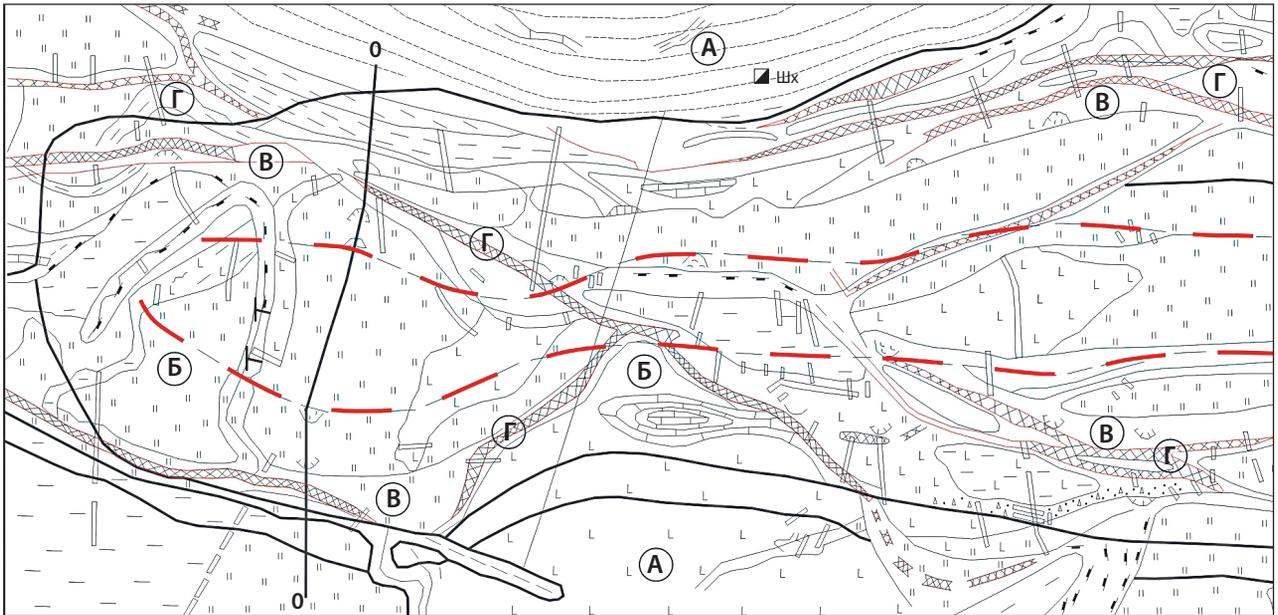
2. Участки со средним инженерно-геологическим потенциалом сложены углеродисто-кремнистыми, реже филлитовидными сланцами и среднеизмененными, умеренно трещиноватыми (КТП — 2,5–5,0 %), прочными (бсж = 30–50 МПа). Зоны разрывных нарушений заполнены глиной трения, степень ползучести (на глубине 300 м) слабая (0,1–0,2) и средняя (0,2–0,3). Ожидаются обрушения и вывалы горных пород объемом 50–60 м<sup>3</sup>, часто обрушения объемом 10–15 м<sup>3</sup>, редко возможны прорывы подземных вод (до 3 м<sup>3</sup>).

3. Участки с низким инженерно-геологическим потенциалом сложены филлитовидными сланцами, глиноподобными породами, тектонитами, сильноизмененными, интенсивно трещиноватыми (КТП от 4,6 до 8,0 %), слабо- (бсж до 10 МПа) и низкопрочными (бсж = 10–30 МПа). Наиболее неустойчивыми являются зоны дробления при разломной и контактной части. Более 70 % пород увлажнены; ползучесть проявляется с глубины 180 м, степень ползучести изменяется от 0,3 до 0,5 и более. Ожидаются обрушения, вывалы, прорывы подземных вод, выпор и выдавливание грунтовых масс.

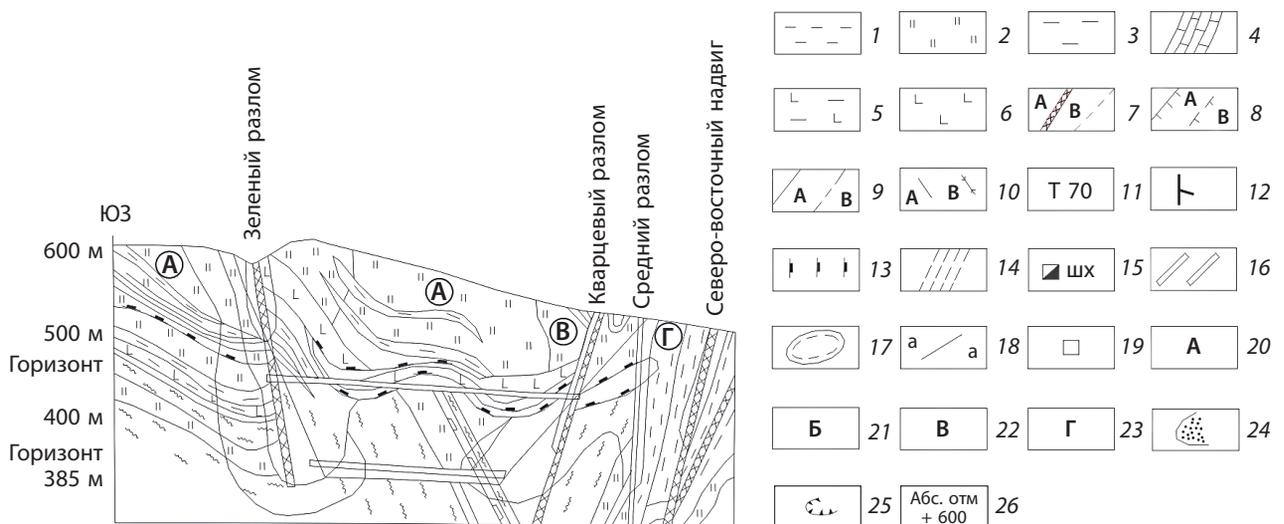
### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основе результатов комплексного анализа условий и факторов, вызывающих инженерно-геологические осложнения, определен комплекс структурно-тектонических, литолого-петрографических, гипергенных, гидрогеологических критериев прогнозирования инженерно-геологических осложнений на шахтах и карьерах региона. С учетом этих критериев методом аналогии выделены объекты, где могут проявляться осложнения, выражающиеся в виде деформаций и оползания бортов карьеров, обрушения кровли подземных выработок выдавливания пород в выработанное пространство.

Анализ и обобщение инженерно-геологических условий месторождения позволили составить карту прогноза изменения инженерно-геологических условий при отработке месторождения Кос открытым



Инженерно-геологический разрез по линии 0-0



**Карта прогноза изменения инженерно-геологических условий при отработке месторождения открытым способом (на примере месторождения Кос)**

1 — алевролиты; 2 — углисто-кремнистые сланцы и микрокварциты; 3 — аргиллиты и филлитовидные сланцы; 4 — известняки и доломитизированные известняки; 5 — амфиболитовые филлитовидные сланцы; 6 — диабазовые порфириды и туфы основного состава; 7 — разломы, сопровождаемые зонами брекчирования смятия: А — установленные, В — предполагаемые; 8 — надвиги; 9 — границы литологических разностей пород; 10 — оси складчатых структур: А — антиклинальных, В — синклиналиных; 11 — залегания пород; 12 — падения разрывных нарушений; 13 — выходы подземных вод; 14 — мочажина; 15 — шахта; 16 — канавы одиночные, магистральные, ручной и механической проходки; 17 — контур карьера; 18 — линия профиля; 19 — площадка изучения трещиноватости и место отбора образцов; категории участков: 20 — неизменяющиеся; 21 — слабо изменяющиеся; 22 — сильно изменяющиеся; 23 — очень сильно изменяющиеся; возможные типы и места формирования инженерно-геологических процессов: 24 — осыпи; 25 — обрушения; 26 — абсолютная отметка

**Prediction map changes in geotechnical conditions during open-pit mining development (based on the Kos deposit)**

1 — siltstones; 2 — carbonaceous-siliceous shales and microquartzites; 3 — argillite and phyllitic shales; 4 — limestone and dolomitized limestone; 5 — amphibolite phyllitic shales; 6 — diabase porphyrites and basic tufts; 7 — faults accompanied by shear breccia zones: A — established, B — inferred; 8 — thrusts; 9 — boundaries of lithological rock differences; 10 — fold structure axes: A — anticlinal, B — synclinal; 11 — rock bedding; 12 — fault dips; 13 — groundwater outcrops; 14 — hollow; 15 — mine; 16 — single, main, manual, and penetrated ditches; 17 — quarry outline; 18 — profile line; 19 — fracturing study area and sample site; area categories: 20 — unchanging; 21 — slightly changing; 22 — highly changing; 23 — extremely changing; possible types and locations of geotechnical processes formations: 24 — screes; 25 — falls; 26 — absolute mark

способом. Подобные карты рекомендуется строить при геолого-промышленной оценке разведываемых месторождений для учета возможных осложнений, влияющих на себестоимость добываемого сырья, а также на стадии проектирования шахт и карьеров для правильного выбора технологии горных работ и мероприятий, обеспечивающих предотвращение нежелательных последствий, обусловленных неблагоприятными процессами и явлениями.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Усманов С. Р., Ахунжанов А. М., Курбанов Э. Ш. Оценка инженерно-геологических процессов при разведке рудных месторождений Центральных Кызылкумов // Разведка и охрана недр. 2024. № 3. С. 88–90. [https://doi.org/10.53085/0034-026X\\_2024\\_3\\_88](https://doi.org/10.53085/0034-026X_2024_3_88).
2. Курбанов С. Д., Мирасланов М. М. Основные вопросы прогноза изменения инженерно-геологических условий месторождений Алмалыкского рудного узла // Научные основы и методы изучения и прогноза инженерно-геологических условий в процессе разведки месторождений полезных ископаемых : тез. докл. к всесоюз. семинару на ВДНХ СССР, 21–25 мая 1979 г. / науч. ред. Г. Г. Скворцов, Л. А. Соколовская. М. : ВСЕГИНГЕО, 1979. С. 27–28.
3. Смирнов Б. В. Теоретические основы и методы прогнозирования горно-геологических условий полезных ископаемых по геологоразведочным данным. М. : Недра, 1976. 119 с.
4. Розовский Л. Б. Введение в теорию геологического подобия и моделирования (применение природных аналогов и количественных критериев подобия в геологии). М. : Недра, 1969. 127 с.
5. Гайдин А. М., Певзнер М. Е., Смирнов Б. В. Прогнозная оценка инженерно-геологических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых. М. : Недра, 1983. 310 с.
6. Мирасланов М. М. Инженерная геология, гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых Узбекистана. Ташкент : ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2011. 228 с.
7. Мирасланов М. М., Закиров М. М. Инженерно-геологические процессы, развитые на месторождениях твердых полезных ископаемых Узбекистана: оценка и прогноз. Ташкент : ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2015. 166 с.
8. Курбанов Э. Ш., Абдурахманов Б. М. Анализ и оценка инженерно-геологических процессов при подземной разработке месторождения Нилу // Разведка и охрана недр. 2022. № 10. С. 31–37. [https://doi.org/10.53085/0034-026X\\_2022\\_10\\_31](https://doi.org/10.53085/0034-026X_2022_10_31).
9. Особенности гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений Южно-Узбеки-

станского горнорудного района / Э. Ш. Курбанов [др.] // Региональная геология и металлогения. 2023. № 96. С. 27–36. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2023\\_96\\_27-36](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2023_96_27-36).

10. Физико-механические свойства горных пород рудных месторождений Узбекистана / Ф. М. Арипова [и др.]. Ташкент : ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2006. 223 с.

## REFERENCES

1. Usmanov S. R., Akhunzhanov A. M., Kurbanov E. Sh. Assessment of engineering and geological processes in the exploration of ore deposits in Central Kyzylkum. *Prospect of Mineral Resources*. 2024; (3): 88–90. [https://doi.org/10.53085/0034-026X\\_2024\\_3\\_88](https://doi.org/10.53085/0034-026X_2024_3_88). (In Russ.)
2. Kurbanov S. D., Miraslanov M. M. Key issues of forecasting changes in geotechnical conditions of the Almalyk ore cluster deposits. *Scientific foundations and methods of studying and forecasting geotechnical conditions in exploring mineral deposits: Extended abstracts of the All-Union Seminar at the USSR Exhibition of Economic Achievements*, 21–25 May 1970 / Sci. eds. G. G. Skvortsov, L. A. Sokolovskaya. Moscow: VSEGINGEO; 1979. P. 27–28. (In Russ.)
3. Smirnov B. V. Theoretical foundations and methods of forecasting mining and geological conditions for minerals extraction based on geological exploration data. Moscow: Nedra; 1976. 119 p. (In Russ.)
4. Rozovsky L. B. Introduction to the theory of geological similarity and modeling (Application of natural analogues and quantitative similarity criteria in geology). Moscow: Nedra; 1969. 127 p. (In Russ.)
5. Gaidin A. M., Pevzner M. E., Smirnov B. V. Predictive assessment of geotechnical conditions for developing solid mineral deposits. Moscow: Nedra; 1983. 310 p. (In Russ.)
6. Miraslanov M. M. Engineering geology, hydrogeology of deposits of solid mineral deposits in Uzbekistan. Tashkent: SE "Institute GIDROINGEO"; 2011. 228 p. (In Russ.)
7. Miraslanov M. M., Zakirov M. M. Engineering-geological processes developed at solid mineral deposits in Uzbekistan: Assessment and forecast. Tashkent: SE "Institute GIDROINGEO"; 2015. 166 p. (In Russ.)
8. Kurbanov E. Sh., Abdurakhmanov B. M. Analysis and evaluation of engineering and geological processes in the underground development of the Nilu deposit. *Prospect of Mineral Resources*. 2022; (10): 31–37. [https://doi.org/10.53085/0034-026X\\_2022\\_10\\_31](https://doi.org/10.53085/0034-026X_2022_10_31). (In Russ.)
9. Hydrogeological and engineering-geological conditions of deposits of the South Uzbekistan mining region / E. Sh. Kurbanov [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2023; (96): 27–36. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2023\\_96\\_27-36](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2023_96_27-36). (In Russ.)
10. Physical and mechanical properties of rocks of ore deposits in Uzbekistan. Tashkent: SE "Institute GIDROINGEO"; 2006. 223 p. (In Russ.)

## Гани Амиргалиевич Бимурзаев

Доктор философии геолого-минералогических наук (PhD), директор

ГУ «Институт гидрогеологии и инженерной геологии», Университет геологических наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

<https://orcid.org/0009-0009-2336-7335>  
Scopus Author ID 58480014400  
Gany82@mail.ru

## Gani A. Bimurzaev

PhD (Geology and Mineralogy), Director

SE "Institute of Hydrogeology and Engineering Geology", University of Geological Sciences, Tashkent, Uzbekistan

<https://orcid.org/0009-0009-2336-7335>  
Scopus Author ID 58480014400  
Gany82@mail.ru

## **Алимжон Махмуджанович Ахунжанов**

Кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник

ГУ «Институт гидрогеологии и инженерной геологии»,  
Университет геологических наук Республики Узбекистан,  
Ташкент, Узбекистан

<https://orcid.org/0009-0002-1254-6935>  
axunjanovolimjon@gmail.com

## **Элбой Шавкатович Курбанов**

Доктор философии геолого-минералогических наук (PhD),  
заведующий лабораторией

ГУ «Институт гидрогеологии и инженерной геологии»,  
Университет геологических наук Республики Узбекистан,  
Ташкент, Узбекистан

<https://orcid.org/0000-0003-3017-4696>  
Scopus Author ID 58951834500  
elboy.qurbonov@mail.ru

## **Alimzhon M. Akhunzhanov**

PhD (Geology and Mineralogy),  
Senior Researcher

SE "Institute of Hydrogeology and Engineering Geology",  
University of Geological Sciences,  
Tashkent, Uzbekistan

<https://orcid.org/0009-0002-1254-6935>  
axunjanovolimjon@gmail.com

## **Elboy Sh. Kurbanov**

PhD (Geology and Mineralogy),  
Head of Laboratory

SE "Institute of Hydrogeology and Engineering Geology",  
University of Geological Sciences,  
Tashkent, Uzbekistan

<https://orcid.org/0000-0003-3017-4696>  
Scopus Author ID 58951834500  
elboy.qurbonov@mail.ru

---

**Вклад авторов:** *Бимурзаев Г. А.* — концепция исследования,  
*Ахунжанов А. М.* — развитие методологии,  
*Курбанов Э. Ш.* — развитие методологии и написание исходного текста.

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

**Contribution of the authors:** *Bimurzaev G. A.* — research concept,  
*Akhunzhanov A. M.* — methodology development,  
*Kurbanov E. Sh.* — methodology development and writing the draft.

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

Статья поступила в редакцию 16.08.2024  
Одобрена после рецензирования 13.11.2024  
Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 16.08.2024  
Approved after reviewing 13.11.2024  
Accepted for publication 20.06.2025

Научная статья

УДК 004.9:552:553.98:551.3.051

doi.org/10.52349/0869-7892\_2025\_102\_93-106

**Ключевые слова:** *бассейновое моделирование, программное обеспечение, крап горной породы, эталонная база изобразительных средств, осадочные породы, метаморфические породы, магматические породы*

**Для цитирования:** Зинченко И. А. Обозначения состава и структур горных пород при выполнении бассейнового моделирования // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 93–106. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_93-106](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_93-106)

Original article

UDC 004.9:552:553.98:551.3.051

doi.org/10.52349/0869-7892\_2025\_102\_93-106

**Keywords:** *basin modeling, software, lithological pattern, standard of graphic arts, sedimentary rocks, metamorphic rocks, igneous rocks*

**For citation:** Zinchenko I. A. Symbolization of rock composition and structure in basin modeling. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (2): 93–106. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_93-106](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_93-106)



© И. А. Зинченко, 2025

## Обозначения состава и структур горных пород при выполнении бассейнового моделирования

И. А. Зинченко

Группа компаний «Газпром нефть», Санкт-Петербург, Россия,  
Zinchenko.IA@gazprom-neft.ru

**Аннотация.** Представлен сравнительный обзор стандартов крапов горных пород, используемых за рубежом и на территории Российской Федерации. Отмечена проблема использования зарубежных стандартов при графическом представлении результатов бассейнового моделирования. Приведены основные характеристики редактора литотипов, входящего в состав программного обеспечения для моделирования. Оценены возможности настройки визуализации построенных бассейновых моделей. Описан процесс адаптации крапов из эталонной базы изобразительных средств Госгеолкарты-200 для всех литотипов библиотеки программного обеспечения. Предложено использование цветных крапов для повышения информативности визуализации модели распределения литотипов. Дополнительно определены крапы для графического представления смешанных литотипов, используемых при работе как с традиционными, так и с нетрадиционными углеводородными системами. Адаптированные для программного обеспечения крапы литотипов могут быть использованы как при построении наиболее простых одномерных моделей по скважинам, так и для сложных постоянно действующих трехмерных бассейновых моделей. На примере визуализации одномерной бассейновой модели по Кольской сверхглубокой скважине продемонстрированы различия между адаптированными крапами эталонной базы изобразительных средств Госгеолкарты-200 и стандартной библиотекой программного обеспечения.

## Symbolization of rock composition and structure in basin modeling

I. A. Zinchenko

Gazprom Neft Group of Companies, Saint Petersburg, Russia,  
Zinchenko.IA@gazprom-neft.ru

**Abstract.** The paper presents a comparative review of lithological pattern standards used abroad and in the Russian Federation. There is a difficulty in employing foreign standards in the graphical representation of basin modeling results. The author provides the main characteristics of the lithotype editor from the modeling software. The potential to customize visualization of the basin models was evaluated. The author describes the process of pattern adaptation from the standard of graphic arts for the State Geological Map (scale of 1 : 200,000) to all lithotypes included in the software library. It is proposed to use coloured lithological patterns to increase the informative value of the lithotype distribution model visualization. There are additionally defined patterns for the graphic representation of mixed lithotypes used in both conventional and unconventional petroleum systems. Software-adapted lithological patterns can be used both for constructing the simplest one-dimensional models of boreholes and for complex, continuously operating three-dimensional basin models. Illustrative differences between the adapted patterns from the standard of graphic arts for the State Geological Map (scale of 1 : 200,000) and standard software library serve as an example of visualizing a one-dimensional basin model for the Kola Superdeep Borehole.

## ВВЕДЕНИЕ

За последние десятилетия бассейновое моделирование и моделирование углеводородных систем прочно вошли в практику геологоразведочных работ на территории Российской Федерации. Построены многочисленные модели различного масштаба и сложности — от наиболее простых одномерных по отдельным скважинам до региональных 3D-моделей осадочных бассейнов. Тем не менее при графическом представлении результатов моделирования в большинстве случаев не используются российские стандарты, так как программное обеспечение (далее — ПО) разработано за рубежом. В то же время ПО предоставляет пользователю возможность гибкой настройки визуализации построенных бассейновых моделей [1].

### *Сравнительный обзор стандартов крапов состава и структур горных пород, используемых при составлении геологической графики за рубежом и на территории Российской Федерации*

Необходимость создания стандартов при составлении геологической графики возникла много десятков лет назад. В век цифровых технологий и больших объемов данных проблема стандартизации стала еще более актуальной.

Силами Геологической службы США (USGS) в сотрудничестве с членами Национальной геологической картографической базы данных США (NGMDB) был разработан документ “FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization”<sup>1</sup>, принятый Федеральным комитетом США по географическим данным (FGDC). Документ представляет собой единый национальный стандарт, обязательный для применения при построении цифровых геологических карт. В нем приведены линейные и точечные символы, цвета и крапы для изображения различных объектов на геологических картах.

При подготовке документа были учтены ранее разработанные стандарты, например, положения частей 1–4 стандарта 710 Международной организации по стандартизации (ISO)<sup>2</sup>, в которых приводятся основные символы геологической карты. Стандарт имеет богатую историю: его разработка и совершенствование ведется Геологической службой США с 1881 г., актуальная версия подготовлена и опубликована в августе 2006 г.<sup>1</sup> В ее состав входят 117 уникальных крапов для изображения литотипов: 84 — для осадочных, 10 — для метаморфических и 23 — для магматических горных пород.

Еще одним широко применяемым стандартом за рубежом является “Shell Standard Legend — Discipline Quality Standard” (SSL), разработанный нефтегазовой компанией Shell для унификации символов, применяемых в сфере разведки и добычи углеводородов. Главной задачей документа является распространение стандарта внутри компании, а также его применение в производственных и академических целях.

Подобно стандарту Геологической службы США, SSL имеет богатую историю. Далеким предшественником современного документа считается работа 1917 г., посвященная проблеме унификации при составлении геологических отчетов [2]. На ее основе в 1932 г. был разработан документ “Standard Legend for Field Sections”. В течение XX в. стандарт SSL дополнялся и в 1995 г. вышло его наиболее широко распространенное издание<sup>3</sup>. Дальнейшее развитие SSL обусловлено внедрением компьютеров и развитием ГИС-систем. Актуальная версия SSL подготовлена и опубликована в сентябре 2016 г. в двух вариантах — RED<sup>4</sup> и GREEN<sup>5</sup>, отличающихся цветом условных обозначений нефти и газа (в RED нефть изображается оттенками красного цвета, а газ — оттенками зеленого, в GREEN — наоборот).

В состав современной версии SSL входят 56 уникальных крапов для изображения горных пород, которые практически полностью повторяют использовавшиеся ранее, например, в версии “Shell Exploration & Production Standard Legend” 1995 г. Часть крапов идентична используемым в стандарте Геологической службы США “FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization”, однако есть и различия, касающиеся в том числе изображения таких широко распространенных горных пород, как песчаник и глинистый сланец.

На территории Российской Федерации основным руководящим документом при создании геологических карт является эталонная база изобразительных средств Госгеолкарты-200 (далее — ЭБЗ 200), которая, в отличие от стандартов Геологической службы США и компании Shell, развивается значительно динамичнее. Несмотря на уже имеющийся внушительный набор крапов для изображения литотипов, счет которых идет на сотни, в ЭБЗ 200

<sup>1</sup>Federal Geographic Data Committee. FGDC Digital cartographic standard for geologic map symbolization. Doc. no. FGDC-STD-013-2006. Reston, VA : Federal Geographic Data Committee, 2006. 290 p. URL: [https://ngmdb.usgs.gov/fgdc\\_gds/geolsymstd/fgdc-geolsym-all.pdf](https://ngmdb.usgs.gov/fgdc_gds/geolsymstd/fgdc-geolsym-all.pdf) (дата обращения: 23.02.2025).

<sup>2</sup>ISO 710-1:1974 Graphical symbols for use on detailed maps, plans and geological cross-sections. Part 1: General rules of representation. URL: <https://www.iso.org/standard/4919.html> (дата обращения: 23.02.2025) ; ISO 710-2:1974 Graphical symbols for use on detailed maps, plans and geological cross-sections. Part 2: Representation of sedimentary rocks. URL: <https://www.iso.org/standard/4920.html> (дата обращения: 23.02.2025) ; ISO 710-3:1974 Graphical symbols for use on detailed maps, plans and geological cross-sections. Part 3: Representation of magmatic rocks. URL: <https://www.iso.org/standard/4921.html> (дата обращения: 23.02.2025) ; ISO 710-4:1982 Graphical symbols for use on detailed maps, plans and geological cross-sections. Part 4: Representation of metamorphic rocks. URL: <https://www.iso.org/standard/4922.html> (дата обращения: 23.02.2025).

<sup>3</sup>Shell exploration & production standard legend 1995 / Comp., Ed. W. G. Witt. Hague : Shell International Exploration and Production B. V., 1995. URL: <https://energistics.org/sites/default/files/2022-10/STANDLEG.PDF> (дата обращения: 23.02.2025).

<sup>4</sup>Shell standard legend (RED). Discipline quality standard (SR.12.12047) / Ed. B. Hulshof. September 2016. URL: [https://www.ioqpp.org/wp-content/uploads/2014/01/SR.12.12047\\_-\\_Shell\\_Standard\\_Legend\\_RED\\_Discipline\\_Quality\\_Standard.pdf](https://www.ioqpp.org/wp-content/uploads/2014/01/SR.12.12047_-_Shell_Standard_Legend_RED_Discipline_Quality_Standard.pdf) (дата обращения: 23.02.2025).

<sup>5</sup>Shell standard legend (GREEN). Discipline quality standard (SR.12.12048) / B. Hulshof. September 2016. URL: [https://www.ioqpp.org/wp-content/uploads/2014/01/SR.12.12048\\_-\\_Shell\\_Standard\\_Legend\\_GREEN\\_Discipline\\_Quality\\_Standard.pdf](https://www.ioqpp.org/wp-content/uploads/2014/01/SR.12.12048_-_Shell_Standard_Legend_GREEN_Discipline_Quality_Standard.pdf) (дата обращения: 23.02.2025).

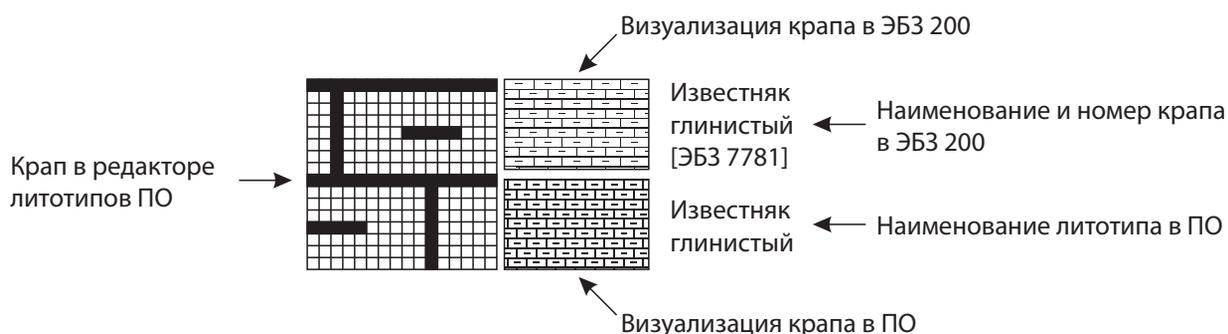


Рис. 1. Легенда для рис. 2–7

Fig. 1. Legend for figs. 2–7

систематически добавляются новые. Актуальной версией ЭБЗ 200 является X.01.08.01, дата последней модификации — 13.03.2024.<sup>1</sup>

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Редактор литотипов, входящий в состав ПО для бассейнового моделирования [3], позволяет просматривать подробную информацию об их свойствах. Каждый литотип характеризуется физическими параметрами: удельной теплопроводностью, радиогенным теплом, теплоемкостью, уплотнением, проницаемостью и т. д. Редактор позволяет редактировать свойства, заданные в библиотеке по умолчанию, и создавать смешанные литотипы.

Кроме перечисленных опций, редактор позволяет назначать крап, вид которого задается сеткой 16 × 16 точек (рис. 1) и цветом в модели RGB (англ. “Red, Green, Blue” — красный, зеленый, синий). Крапы литотипов, используемые в библиотеке ПО [3], основаны на стандартах Геологической службы США “FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization” и SSL.

Большая часть крапов, заложенных в ПО, не соответствует принятым стандартам, предъявляемым к оформлению геологической информации на территории Российской Федерации. В связи с этим возникла необходимость адаптировать крапы из ЭБЗ 200 для использования в ПО.

Многие стандартные крапы невозможно разглядеть невооруженным глазом при визуализации бассейновой модели. На любом мониторе на каждый из четырех слоев использующегося по умолчанию крапа известняка будет приходиться менее 1 мм экранного пространства. Это мелко даже для изображения крапа известняка без примесей, а графические элементы глинистости делают его практически нечитаемым на экране. По этой причине масштаб адаптированных крапов изменен вдвое относительно используемых по умолчанию — например, вместо 4 слоев извест-

няка по 4 точки высотой предлагается использовать лишь 2 слоя по 8 точек (рис. 1) и т. д.

В библиотеке ПО представлены литотипы для осадочных, метаморфических и магматических пород.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Осадочные породы

Осадочные породы с точки зрения бассейнового моделирования представляют наибольший интерес. Отдельно выделены обломочные, карбонатные, хемогенные и биогенные горные породы.

Обломочные горные породы представлены алевролитами, глинистыми сланцами, конгломератами и песчаниками (рис. 2). Для изображения алевролитов в ЭБЗ 200 используются 7 крапов, для адаптации был выбран наиболее обобщенный — «7720 Алевролиты». Всем разновидностям глинистых сланцев по умолчанию в редакторе отведен 1 крап, в ЭБЗ 200 дополнительно определен крап глинисто-кремнистого сланца. В ЭБЗ 200 введены несколько типов конгломератов — валунные, галечные, гравийные, граувакковые галечные, а также туфоконгломерат и валунный туфоконгломерат, для адаптации был выбран крап «7670 Конгломераты галечные». Кроме стандартного крапа для изображения песчаников, в ЭБЗ 200 определены крапы для аркозовых и граувакковых песчаников, которые также предлагаются к использованию.

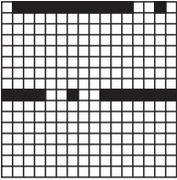
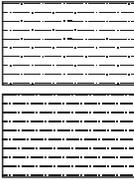
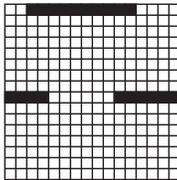
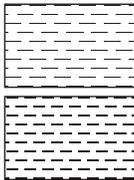
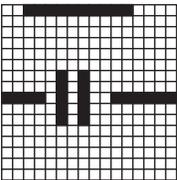
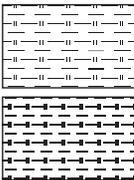
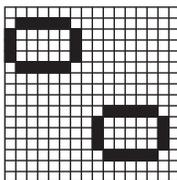
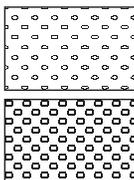
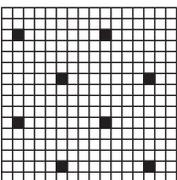
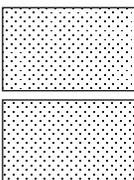
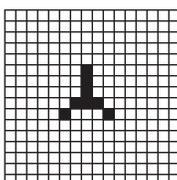
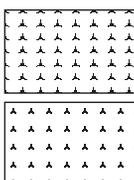
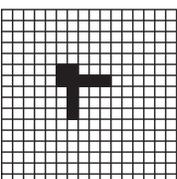
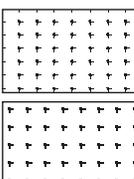
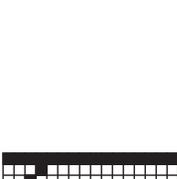
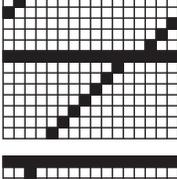
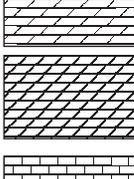
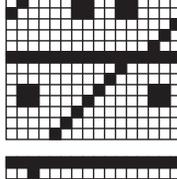
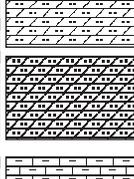
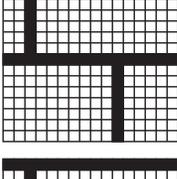
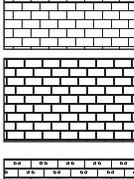
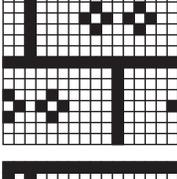
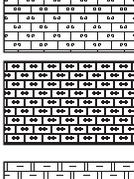
Карбонатные породы в стандартной библиотеке ПО представлены доломитами, известняками, мелом и мергелями (рис. 2). Для каждого из перечисленных литотипов в ЭБЗ 200 есть свой аналог.

Хемогенные породы представлены ангидритом, гипсом, кремнем и солями (рис. 3). В ЭБЗ 200 определены все из рассматриваемых литотипов, крап «8790 Соли каменные» предлагается использовать для обозначения как каменных солей, так и галита/полигалита.

Биогенные породы представлены диатомитами и каменными углями (рис. 3), крапы для которых также определены в ЭБЗ 200 («7767 Диатомит» и «7761 Угли каменные»).

<sup>1</sup>Эталонная база изобразительных средств Гостеолкарты-200/2. Версия X01.08.01 от 13.03.2024. URL: [https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/normdocs/ggk200/ebz\\_200\\_x01-08-01\\_130324.zip](https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/normdocs/ggk200/ebz_200_x01-08-01_130324.zip) (дата обращения: 23.02.2025).

### Обломочные горные породы

		Алевролиты [ЭБЗ 7720]			Аргиллиты, глинистые сланцы [ЭБЗ 7730]
		Алевролиты			Глинистые сланцы
		Глинисто-кремнистый сланец [ЭБЗ 7926]			Конгломераты галечные [ЭБЗ 7670]
		Глинисто-кремнистые сланцы			Конгломераты
		Песчаники [ЭБЗ 7710]			Песчаники аркозовые [ЭБЗ 7904]
		Песчаники			Песчаники аркозовые
		Песчаники граувакковые [ЭБЗ 7905]			
		Песчаник граувакковый			

### Карбонатные породы

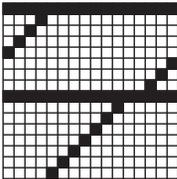
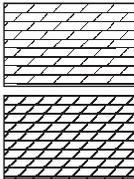
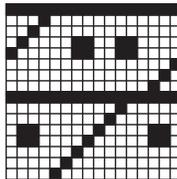
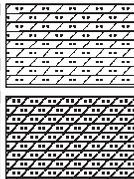
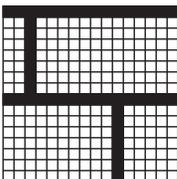
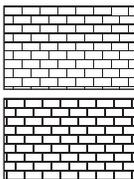
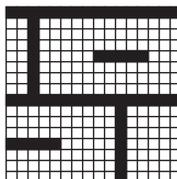
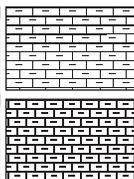
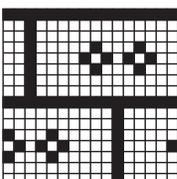
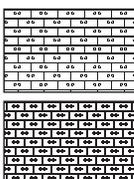
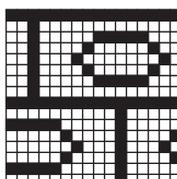
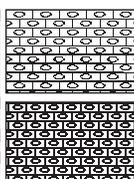
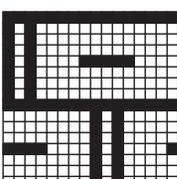
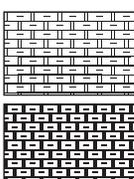
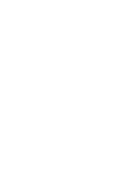
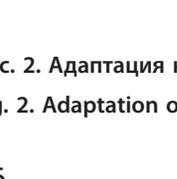
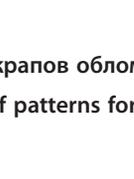
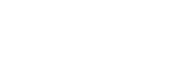
		Доломиты [ЭБЗ 8140]			Доломит песчанистый [ЭБЗ 7783]
		Доломиты			Доломит песчанистый
		Известняки [ЭБЗ 8130]			Известняк глинистый [ЭБЗ 7781]
		Известняки			Известняк глинистый
		Известняк оолитовый [ЭБЗ 7702]			Мел [ЭБЗ 7779]
		Известняк оолитовый			Мел
		Мергели [ЭБЗ 7760]			
		Мергели			

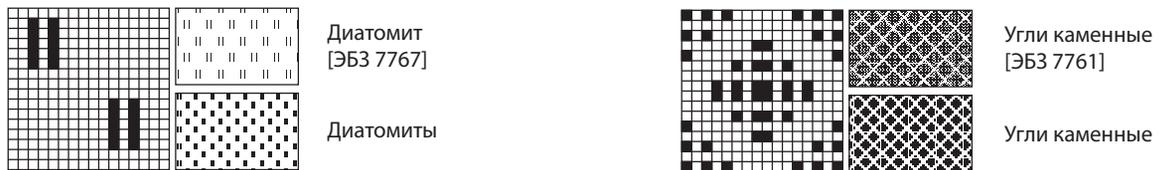
Рис. 2. Адаптация крапов обломочных и карбонатных пород

Fig. 2. Adaptation of patterns for clastic and carbonate rocks

### Хемогенные породы



### Биогенные породы



### Метаморфические породы

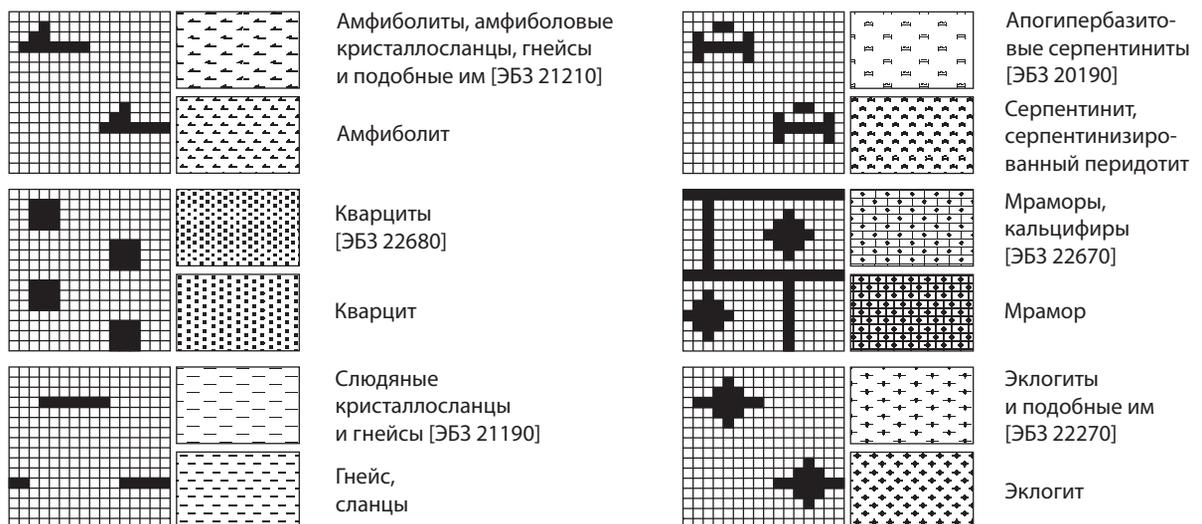


Рис. 3. Адаптация крапов хемогенных, биогенных и метаморфических пород

Fig. 3. Adaptation of patterns for chemical, biogenic, and metamorphic rocks

### **Метаморфические породы**

Библиотека метаморфических пород в ПО представлена амфиболитом, гнейсом, кварцитом, мрамором, серпентинитом, сланцами и эклогитом (рис. 3).

Для изображения кварцита, мрамора и эклогита в ЭБЗ 200 есть соответствующие крапы. Для амфиболита выбран крап «21210 Амфиболиты, амфиболовые кристаллосланцы, гнейсы и подобные им», для серпентинита — «20190 Апогипербазитовые серпентиниты».

В терминологии, используемой при работе с метаморфическими породами американскими и российскими геологами, есть некоторые отличия. Так, в американской трактовке термина «гнейс» минеральный состав не является существенным фактором при определении породы, структура породы имеет преимущественное значение [4]. В русской литературе он обычно означает метаморфическую породу, в которой кварц и полевые шпаты относятся к главным породообразующим минералам [5]. Для обозначения гнейса условно выбран крап «21190 Слюдяные кристаллосланцы и гнейсы». Поскольку в стандартной библиотеке литотипов не указан минеральный состав сланцев, для изображения как слабометаморфизованных сланцеватых пород (англ. "slate"), так и кристаллических сланцев (англ. "schist") использован этот же крап.

### **Магматические породы**

Магматические породы в библиотеке ПО представлены широким спектром plutonic и вулканических пород (рис. 4). Адаптация крапов магматических пород явилась наиболее сложной задачей по причине существования ряда подходов к систематике и классификации магматических пород, а также различий в терминологии за рубежом и на территории Российской Федерации.

Крапы магматических пород в ЭБЗ 200 дополнительно делятся в зависимости от принадлежности к петрохимическому ряду (нормальный, умереннощелочной, щелочной), а также по структуре (зернистости) пород. Предпочтение отдавалось крупнозернистым разновидностям и наиболее обобщенным крапам.

Крапы магматических пород используются также для обозначения состава земной коры.

### **Интрузивные (плутонические и гипабиссальные) породы**

К интрузивным породам в библиотеке ПО относятся альбитит, анортозит, бронзитит, диорит, дунит, габбро, гранит, гранодиорит, гарцбургит, гиперстенит, лампрофиры, лерцолит, монцониты, перидотиты, пироксенит, сиениты, тоналит и ультрамафические породы.

Крап альбитита в ЭБЗ 200 не определен. Согласно [6], альбитит является разновидностью щелочно-полевошпатового сиенита, состоящего почти

полностью из альбита. По этой причине выбран крап «17930 Сиениты крупнозернистые».

Для бронзитита, который является ортопироксенитом, почти полностью состоящим из бронзита [6], выбран крап «17860 Пироксениты-горнблендиты (ультрамафиты основные) крупнозернистые». Для гиперстенита (ортопироксенита, почти полностью сложенного гиперстеном [6]), пироксенита (ультрамафической плутонической породы, состоящей главным образом из пироксена [6]) и ультрамафитов предлагается использовать этот же крап.

Для дунита (ультрамафической плутонической породы, состоящей преимущественно из оливина [5; 6]) использован крап «17890 Оливиниты-дуниты крупнозернистые». Для перидотита в ЭБЗ 200 выбран соответствующий крап «17880 Перидотиты крупнозернистые», он же использован для изображения гарцбургита и лерцолита, которые относятся к перидотитам [5; 6].

Перидотиты, как правило, подвергаются эпигенетическому изменению и превращаются в серпентиниты [6]. По этой причине литотипу серпентинизированного перидотита можно в соответствие задать крап «20190 Апогипербазитовые серпентиниты» (рис. 3).

В состав стандартной библиотеки ПО входят три литотипа сиенитов (один обычный и два нефелиновых, отличающихся друг от друга значением пористости — 1 и 5 %). Для обычного сиенита выбран крап «17930 Сиениты крупнозернистые». Согласно [5; 6], нефелиновый сиенит является разновидностью фельдшпатоидного сиенита, поэтому в ЭБЗ 200 этим двум литотипам можно поставить в соответствие крап «18000 Фельдшпатоидные сиениты крупнозернистые».

Тоналиту, который представляет собой разновидность гранодиорита [5], задан в соответствие крап «17830 Гранодиориты крупнозернистые».

В ЭБЗ 200 отсутствует крап для изображения лампрофинов, по этой причине предлагается использовать заданный в ПО крап по умолчанию.

### **Эффузивные (вулканические) породы**

К указанной группе магматических пород в библиотеке ПО относятся андезит, базальт, диабаз, долерит, риолит и туфы.

Для андезита из 4 крапов, представленных в ЭБЗ 200 (андезиты; трахиандезиты, латиты; андезиты двупироксеновые; андезиты роговообманковые), использован наиболее общий — «9420 Андезиты». Для риолита в ЭБЗ 200 есть соответствующий крап «9390 Риолиты».

Диабаз — среднезернистая порода, близкая по составу к базальту, синонимичный термин — «долерит» [6]. Поскольку крапы диабаза и долерита в ЭБЗ 200 не определены, принято решение использовать общий крап «9460 Базальты» для базальтов и перечисленных литотипов.

Отдельного внимания заслуживают крапы туфов — если в стандарте Геологической службы США "FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map

**Интрузивные (плутонические и гипабиссальные) породы**

		Анортозит крупнозернистый [ЭБЗ 20050]			Габбро кварцевое крупнозернистое [ЭБЗ 20060]
		Анортозит			Габбро
		Граниты крупнозернистые [ЭБЗ 17820]			Гранодиориты крупнозернистые [ЭБЗ 17830]
		Гранит			Гранодиорит, тоналит
		Диориты крупнозернистые [ЭБЗ 17840]			Кварцевый монцонит крупнозернистый [ЭБЗ 20100]
		Диорит			Кварцевый монцонит
		Монцониты крупнозернистые [ЭБЗ 17940]			Оливиниты-дуниты крупнозернистые [ЭБЗ 17890]
		Монцонит			Дунит
		Перидотиты крупнозернистые [ЭБЗ 17880]			Пироксениты-горнблендиты (ультрамафиты) крупнозернистые [ЭБЗ 17860]
		Гарцбургит, лерцолит, перидотит			Бронзитит, гиперстенит, пироксенит, ультрамафические породы
		Сиениты крупнозернистые [ЭБЗ 17930]			Фельдшпатоидные сиениты крупнозернистые [ЭБЗ 18000]
		Альбитит, сиенит			Нефелиновый сиенит

**Эффузивные (вулканические) породы**

		Андезиты [ЭБЗ 9420]			Базальты [ЭБЗ 9460]
		Андезит			Базальты, диабаз, долерит
		Риолиты [ЭБЗ 9390]			Туфы кислого состава нормального ряда [ЭБЗ 10720]
		Риолит			Фельзический туф
		Туфы основного состава нормального ряда [ЭБЗ 10740]			
		Базальтовый туф			

Рис. 4. Адаптация крапов магматических пород

Fig. 4. Adaptation of patterns for igneous rocks

Symbolization” приведен лишь один вариант, то в ЭБЗ 200 крапы туфов кислого и основного состава представлены в трех разновидностях в зависимости от петрохимического ряда (нормальный, умеренно-щелочной, щелочной). Для адаптации были выбраны крапы туфов нормального ряда.

### Цветовое определение крапов литотипов

Использование цветных крапов в ПО необходимо для корректной визуализации модели распределения литотипов — в противном случае (при использовании крапов черно-белого цвета) она потеряет информативность. В библиотеке ПО всем литотипам, кроме каменного угля, присвоен цвет, отличный от черного. В ЭБЗ 200 версии X.01.08.01 от 13.03.2024 альтернатива черно-белым крапам не приводится.

В стандарте “Shell Exploration & Production Standard Legend” для горных пород определены цветные литологические крапы как альтернативные черно-белым, в приложении к SSL приведены кодировки для цветовых моделей RGB и CMYK. Для большей части литотипов библиотеки ПО в стандарте SSL определен цвет. В этом плане стандарт SSL

является более полным, поскольку в ПО, например, не используются литотипы диамиктита и офиолитов. С другой стороны, кремний и диатомиты, входящие в состав стандартной библиотеки ПО, напротив, не представлены в составе SSL (таблица).

Нельзя не упомянуть попытки Геологической службы США создать базу эталонных цветов для различных литотипов. В опубликованном докладе Геологической службы США<sup>1</sup> были предложены цветовые кодировки в модели RGB для North American Geologic Map Data Model версий 4.3, 6.1 и 6.2, а также проектный вариант для State Geologic Map Compilation, однако в выпущенном годом позднее стандарте “FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization” приведены цвета исключительно для пород магматического происхождения.

Во введении к докладу указывается, что традиционно оттенки желтого используются для нецементированного материала, розового — для гранитных пород, фиолетового — для ультрамафических пород, синего — для карбонатных пород, от темно-желтого до светло-оранжевого — для песчаников, серого — для глинистых сланцев, что в целом согласуется с цветами литотипов, используемых в SSL (таблица).

### Цветовое обозначение крапов литотипов в стандарте “Shell Exploration & Production Standard Legend”

Colour designation of lithological patterns in the “Shell Exploration & Production Standard Legend”

Литотип	Цвет	Модель RGB			Модель CMYK			
		R	G	B	C	M	Y	K
Гравий, конгломерат, брекчия		107	142	35	58	44	87	0
Песок, песчаник		255	255	0	0	0	100	0
Алеврит, алевролит		154	255	154	40	0	40	0
Глина, глинистый сланец		127	127	127	0	0	0	50
Диамиктит		165	42	42	35	84	84	0
Мергель, известковая глина		124	252	0	51	1	100	0
Известняк, мел		128	255	255	50	0	0	0
Доломит		128	128	255	50	50	0	0
Гипс, ангидрит		255	128	255	0	50	0	0
Каменная соль		127	255	212	50	0	17	0
Каменные угли		0	0	0	0	0	0	100
Плутонические породы		255	20	147	0	92	42	0
Вулканические породы		255	165	0	0	35	100	0
Офиолиты		102	205	170	60	20	34	0
Метаморфические породы		250	128	114	2	50	54	0

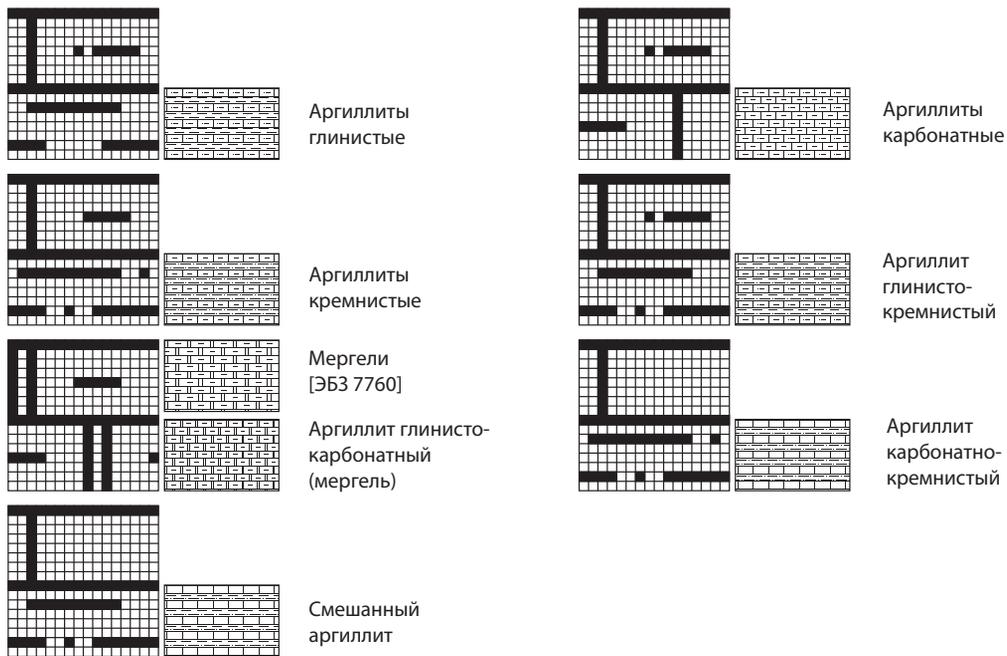
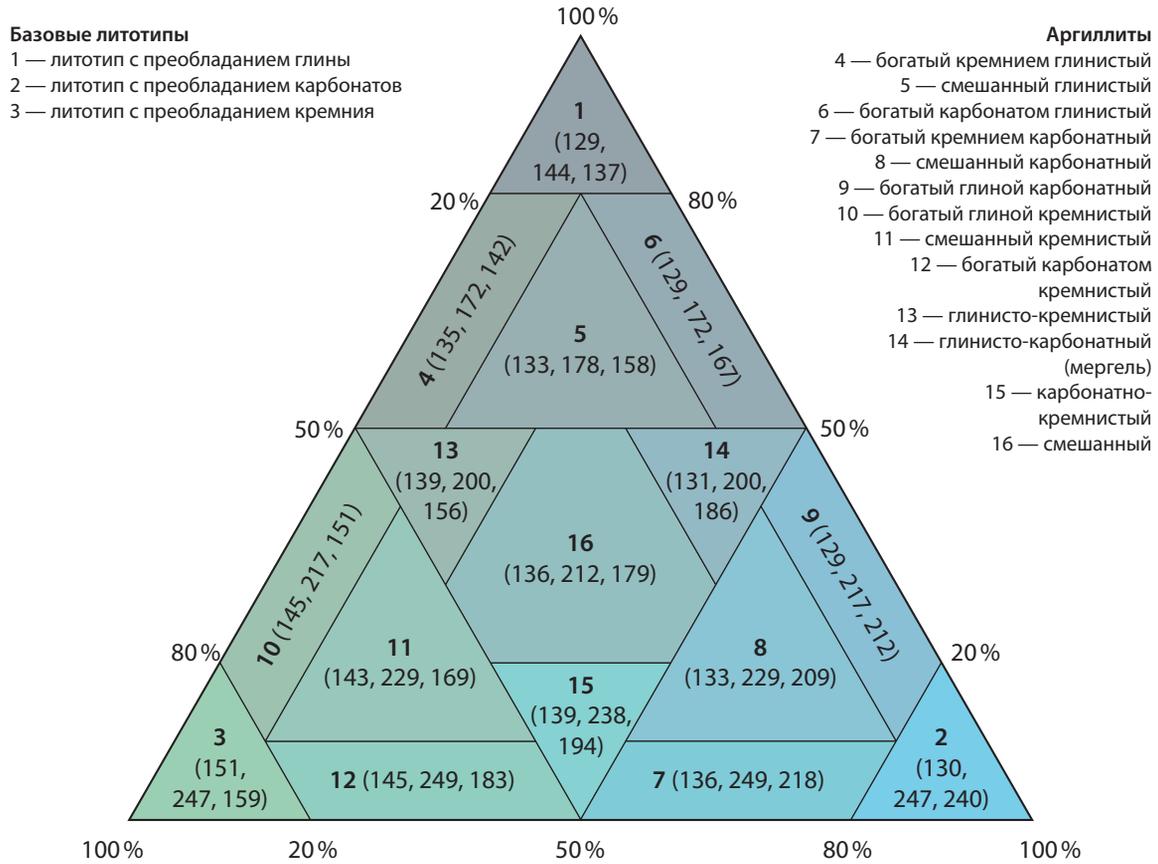
Источник: по W. G. Witt\*

Source: from W. G. Witt\*\*

<sup>1</sup>Methods to create ArcMap® Styles with examples for lithology and time. U. S. Geological Survey Open-File Report 2005-1314 / L. A. Moyer [et al.]. 21 p. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2005/1314/of2005-1314.pdf> (дата обращения: 23.02.2025).

\*Shell exploration & production standard legend 1995 / Comp., Ed. W. G. Witt. Hague : Shell International Exploration and Production B. V., 1995. URL: <https://energistics.org/sites/default/files/2022-10/STANDLEG.PDF> (дата обращения: 23.02.2025).

\*\*Shell exploration & production standard legend 1995 / Comp., Ed. W. G. Witt. Hague: Shell International Exploration and Production B. V.; 1995. URL: <https://energistics.org/sites/default/files/2022-10/STANDLEG.PDF> (accessed 23.02.2025).



**Рис. 5. Крапы и цветовая модель RGB смешанных литотипов для работы с нетрадиционными углеводородными системами**

Крапы для базовых литотипов представлены на рис. 2

Источник: по [7]

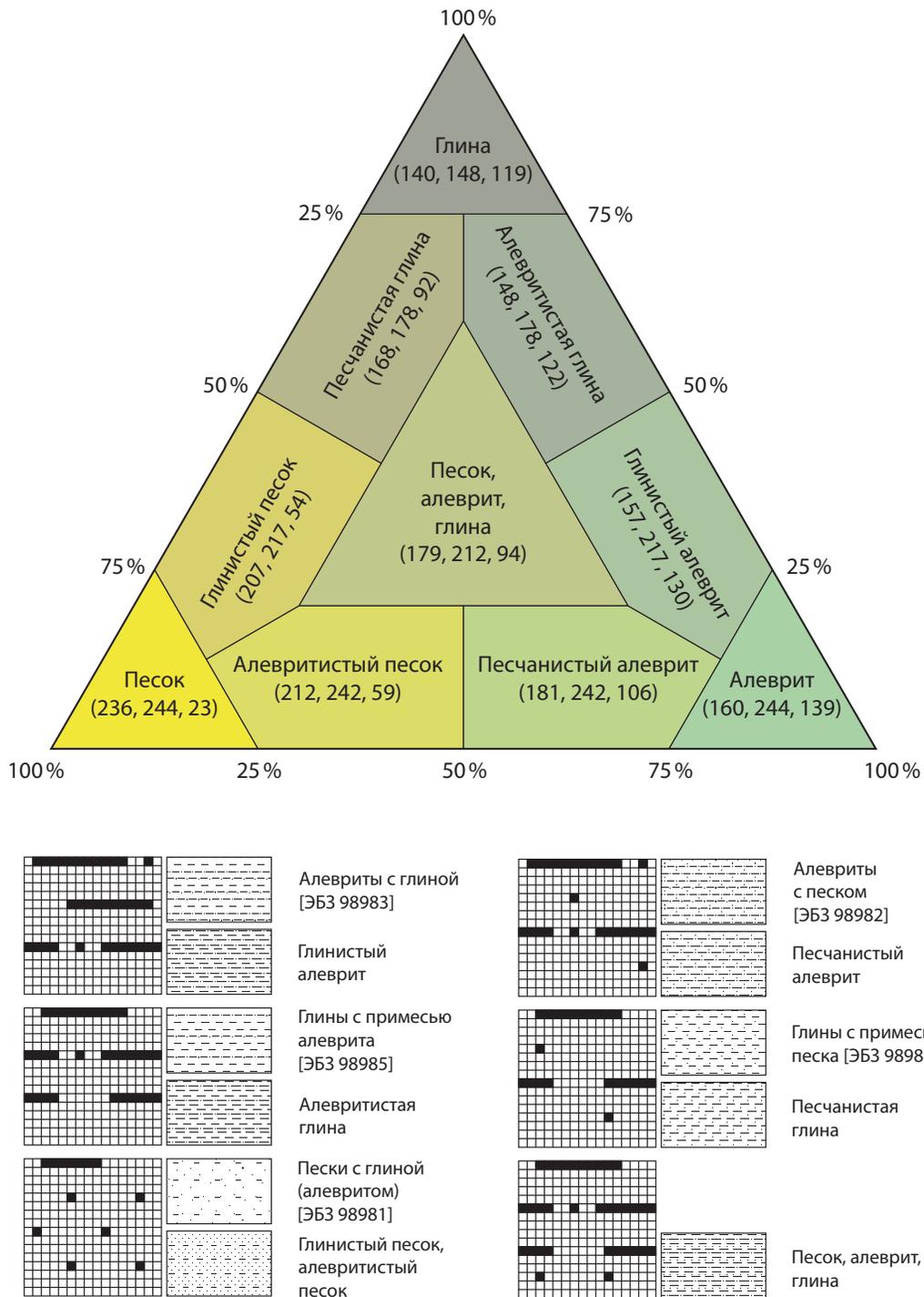
**Fig. 5. Patterns and RGB colour model for mixed lithotypes to work with unconventional petroleum systems**

Refer to the patterns for basic lithotypes in fig. 2

Source: from [7]

Поскольку в ЭБЗ 200 отсутствуют рекомендации по альтернативной черно-белой цветовой окраске литотипов, выбор цветовой палитры остается за конечным пользователем ПО — использовать стан-

дартную или разработать свою. То же касается и смешанных литотипов. Для присвоения адаптированным крапам цветowych обозначений была использована цветовая модель RGB из стандарта SSL (таблица).



**Рис. 6. Крапы и цветовая модель RGB смешанных литотипов для работы с терригенными отложениями**

Крапы для базовых литотипов представлены на рис. 2

Источник: по [8]

**Fig. 6. Patterns and RGB colour model for mixed lithotypes to work with terrigenous sediments**

Refer to the patterns for basic lithotypes in fig. 2

Source: from [8]

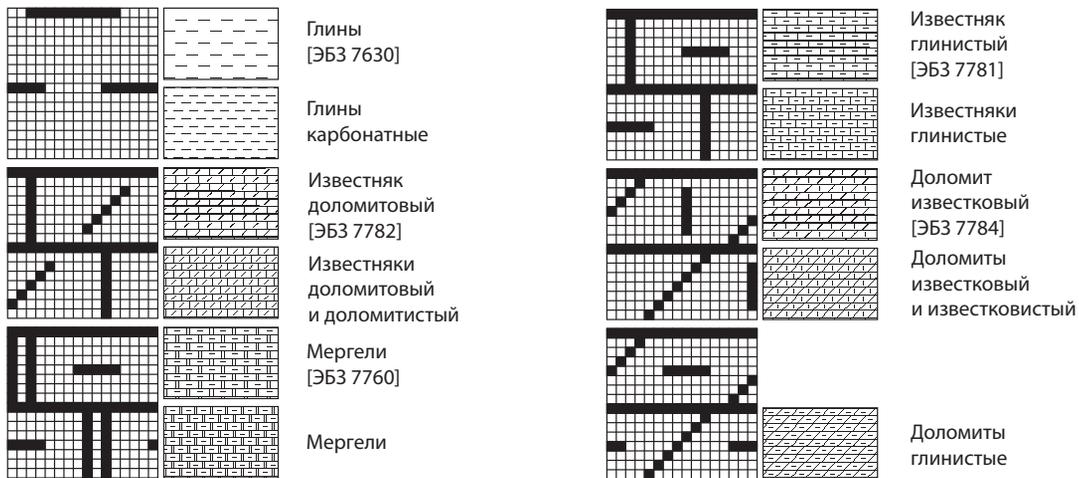
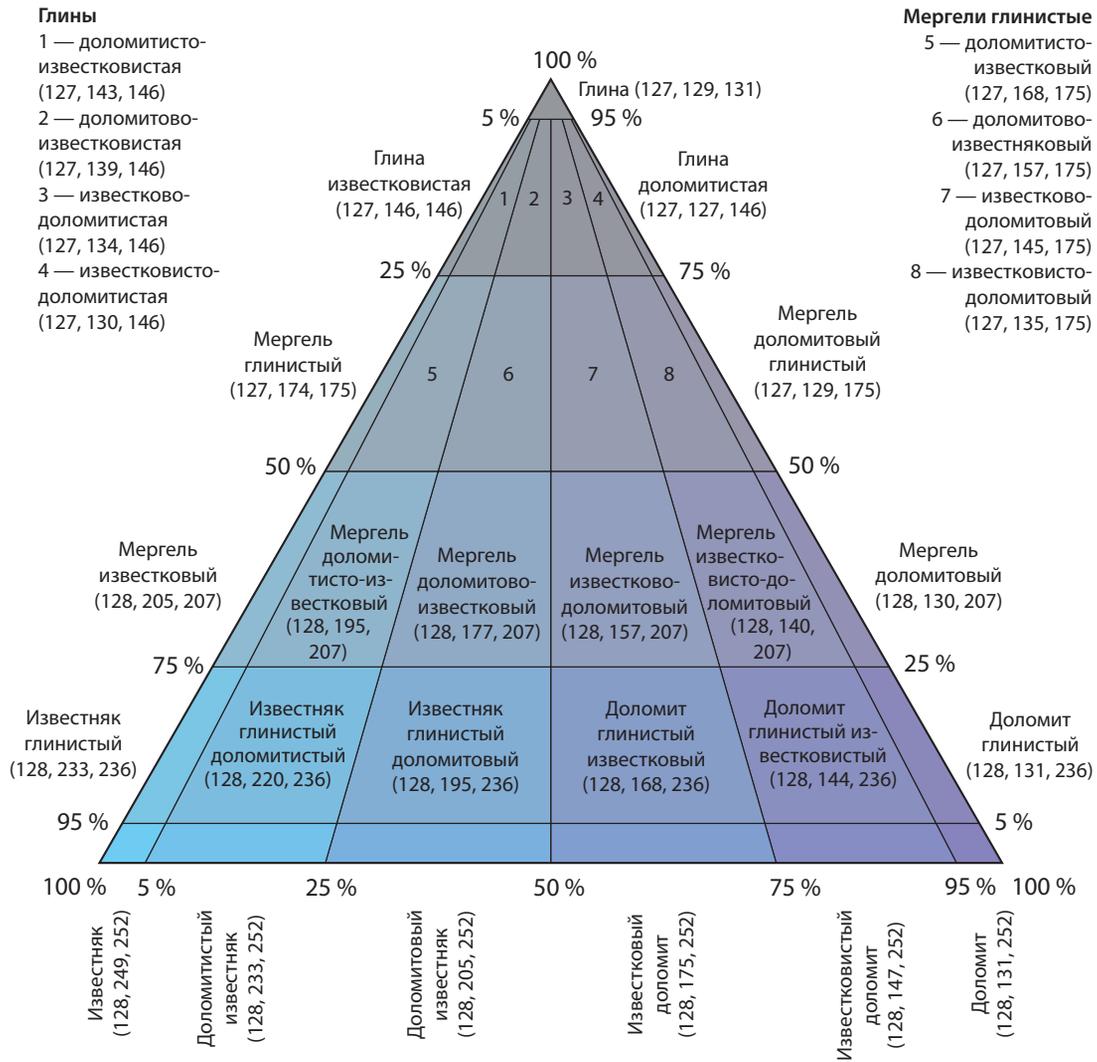


Рис. 7. Крапы и цветовая модель RGB смешанных литотипов для работы с карбонатными отложениями

Крапы для базовых литотипов представлены на рис. 2

Источник: по [9]

Fig. 7. Patterns and RGB colour model for mixed lithotypes to work with carbonate rocks

Refer to the patterns for basic lithotypes in fig. 2

Source: from [9]

**Смешанные литотипы**

Несмотря на то, что библиотека ПО [3] содержит значительное количество литотипов, при проведении бассейнового моделирования принято работать с их смесями. Широкое распространение получили треугольные диаграммы, по которым определяются названия смешанных литотипов. В связи с этим для их корректного графического представления также важно определить крапы.

В библиотеке ПО есть группа смешанных литотипов, предназначенная для работы с нетрадиционными углеводородными системами [7]. Группа включает в себя 16 типов аргиллитов, полученных на основе базовых литотипов глинистого сланца, алевролита и известняка. Крапы для визуализации этих аргиллитов в ЭБЗ 200 не определены, по этой причине они были разработаны на основе смешивания крапов базовых литотипов (рис. 5).

Для работы с терригенными отложениями наилучшим образом подходит классификация Ф. П. Шепарда [8], согласно которой состав литотипов определяется содержанием песка, алеврита и глины. Диаграмма имеет центральную область, описывающую

большую группу отложений примерно с одинаковым содержанием базовых литотипов (рис. 6).

Бассейновое моделирование подразумевает работу со сцементированными разностями, для адаптации использовались базовые литотипы песчаника, алевролита и глинистого сланца. В ЭБЗ 200 определены крапы для большинства литотипов, при этом для песков с глиной и песков с алевритом в ЭБЗ 200 определен один общий. Крап смешанного литотипа в центральной части диаграммы Шепарда в ЭБЗ 200 не определен, поэтому он был разработан на основе крапов базовых литотипов, смешанных примерно в одинаковых долях (рис. 6).

Для работы с карбонатными отложениями предлагается использовать классификацию С. Г. Вишнякова [9], согласно которой состав литотипов определяется содержанием известняка, доломита и глины (рис. 7). В ЭБЗ 200 определены все крапы, кроме глинистых доломитов. Он был разработан на основе логики, заложенной в крап «7784 Доломит известковый».

Палитра цветов для смешанных литотипов была получена на основе цветов базовых литотипов, определенных в SSL (таблица), что позволило сохранить

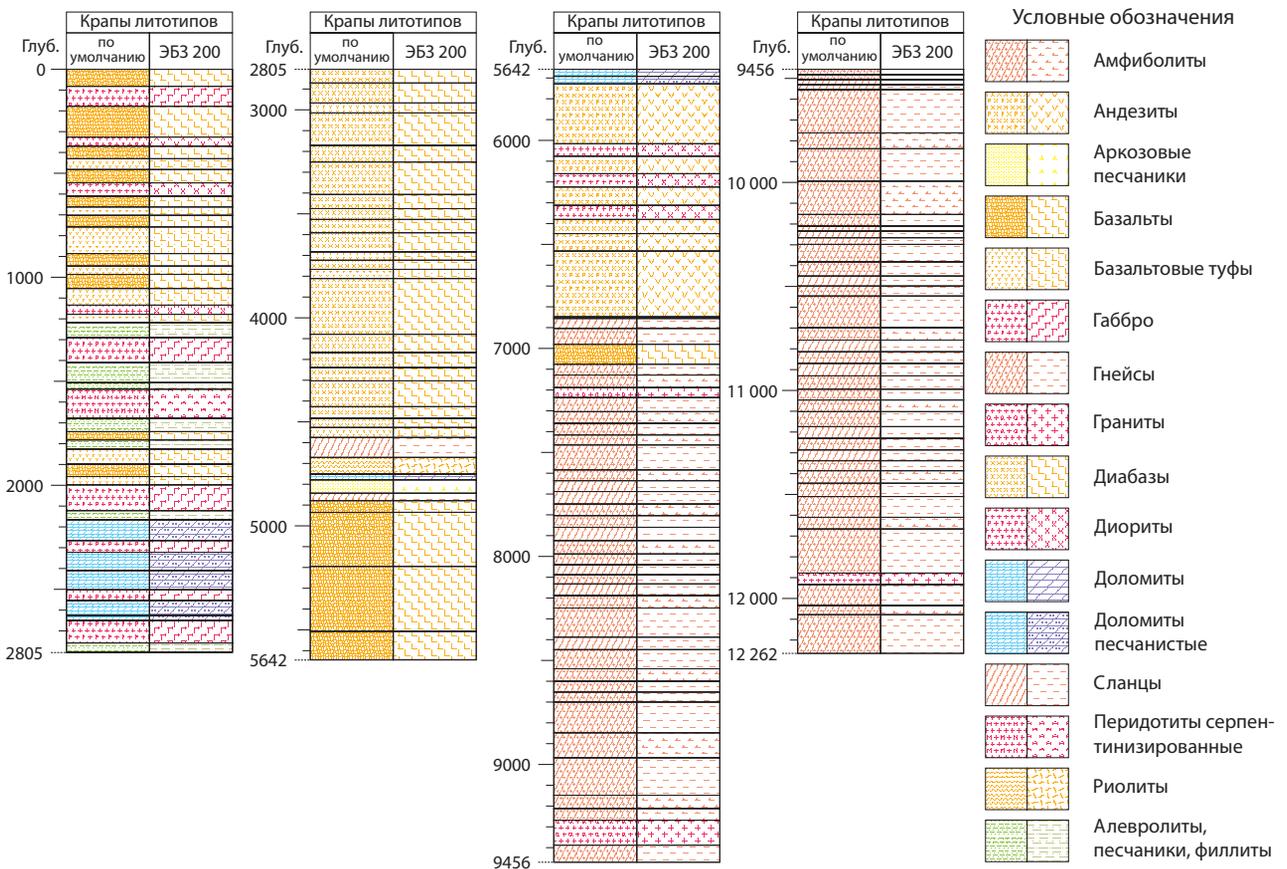


Рис. 8. Визуализация бассейновой 1D-модели по Кольской сверхглубокой скважине с использованием крапов литотипов по умолчанию и адаптированных крапов ЭБЗ 200

Fig. 8. Visualization of the Kola Superdeep Borehole 1D basin model, with default and adapted lithological patterns from the standard of graphic arts for the State Geological Map (scale of 1 : 200,000)

общую закономерность цветовой модели. Расхождение наблюдается только для мергеля — в SSL предлагается изображать его зеленым цветом, а не оттенками серого, голубого и синего цветов в зависимости от преобладания того или иного базового литотипа в его составе (рис. 7).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Адаптированные для ПО крапы литотипов могут быть использованы как при построении наиболее простых 1D-моделей по скважинам, так и для сложных постоянно действующих бассейновых 3D-моделей.

В качестве примера на рис. 8 приведена бассейновая 1D-модель по Кольской сверхглубокой скважине (СГ-3) [10], где наглядно представлены различия адаптированных крапов ЭБЗ 200 и стандартной библиотеки ПО.

Использование адаптированных крапов ЭБЗ 200 с дифференциацией по цветам в зависимости от состава того или иного литотипа позволяет повысить наглядность построенных бассейновых моделей и добиться унификации на методическом уровне.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стандарты Геологической службы США, нефтегазовой компании Shell и эталонной базы изобразительных средств Госгеолкарты имеют богатую историю и широко применяются как при геологическом картировании, так и в специализированном ПО. При этом ЭБЗ 200 развивается значительно динамичнее зарубежных аналогов и на сегодня ее с уверенностью можно считать высокопроработанным и исключительно практически значимым продуктом не только для составителей геологических карт, но и в целом для специалистов-геологов.

На основе ЭБЗ 200 предложены адаптированные для использования в ПО крапы литотипов, которые могут найти применение среди пользователей на территории Российской Федерации. В ходе работы обнаружены и некоторые слабые стороны ЭБЗ 200 — в актуальной версии отсутствуют используемые в зарубежных стандартах крапы лампрофиров, глинистых доломитов и богатых доломитом песчаников.

В современных условиях бурного развития ПО для геологического моделирования ЭБЗ 200 может стать главным руководящим документом, что позволит унифицировать и вывести на новый уровень подготовку и оформление не только геологических карт, но и моделей разных типов и масштабов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зинченко И. А. Общая стратиграфическая шкала России: разработка ее цветowych моделей и адаптация для программных продуктов, реализующих технологию бассейнового моделирования // Региональная геология и металлогения. 2019. № 77. С. 52–59.

2. Wannier M. M. A. 'Uniformity in Geological Reports' (1917) by Josef Theodor Erb, petroleum geologist and manager (1874–1934) // History of the European oil and gas industry / Eds. J. Craig, F. Gerali, F. MacAulay, R. Sorkhabi. Vol. 465. London : Geological Society, 2018. P. 381–390. <https://doi.org/10.1144/SP465.7>.

3. Hantschel T., Kauerauf A. I. Fundamentals of basin and petroleum systems modeling. Heidelberg, Germany : Springer Berlin, 2009. 476 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-72318-9>.

4. Metamorphic rocks: A classification and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks / Eds. D. Fettes, J. Desmons. Cambridge : Cambridge University Press, 2007. 244 p.

5. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. 3-е изд., испр. и доп. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 199 с.

6. Igneous rocks: A classification and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks / Eds. R. W. Le Maitre [et al.]. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2002. 236 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535581>.

7. Gamero-Diaz H., Miller C., Lewis R. sCore: A mineralogy based classification scheme for organic mudstones // SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, LA, USA, 30 September — 2 October 2013. P. 1–17. <https://doi.org/10.2118/166284-MS>.

8. Shepard F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios // Journal of Sedimentary Research. 1954. Vol. 24, no. 3. P. 151–158. <https://doi.org/10.1306/d4269774-2b26-11d7-8648000102c1865d>.

9. Вишняков С. Г. Карбонатные породы и полевое исследование их пригодности для известкования почвы // Карбонатные породы Ленинградской области, Северного края и Карельской АССР. Вып. 2. М. ; Л., 1933. С. 3–22.

10. Кольская сверхглубокая. Научные результаты и опыт исследований / под ред. В. П. Орлова, Н. П. Лаврова. М. : МФ «ТЕХНОНЕФТЕГАЗ», 1998. 260 с.

## REFERENCES

1. Zinchenko I. A. General stratigraphic chart of Russia: Development of its colour models and adaptation for basin modeling software. *Regional Geology and Metallogeny*. 2019; (77): 52–59. (In Russ.).

2. Wannier M. M. A. 'Uniformity in Geological Reports' (1917) by Josef Theodor Erb, petroleum geologist and manager (1874–1934). History of the European oil and gas industry / Eds. J. Craig, F. Gerali, F. MacAulay, R. Sorkhabi. Vol. 465. London: Geological Society; 2018. P. 381–390. <https://doi.org/10.1144/SP465.7>.

3. Hantschel T., Kauerauf A. I. Fundamentals of basin and petroleum systems modeling. Heidelberg, Germany: Springer Berlin; 2009. 476 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-72318-9>.

4. Metamorphic rocks: A classification and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks / Eds. D. Fettes, J. Desmons. Cambridge: Cambridge University Press; 2007. 244 p.

5. Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, and impact formations. 3<sup>rd</sup> ed., corr. and suppl. St. Petersburg: VSEGEI Press; 2009. 199 p. (In Russ.).

6. Igneous rocks: A classification and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks / R. W. Le Maitre [et al.]. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2002. 236 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535581>.

7. Gamero-Diaz H., Miller C., Lewis R. sCore: A mineralogy based classification scheme for organic mudstones. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, New Orleans, LA, USA, 30 September — 2 October 2013. P. 1–17. <https://doi.org/10.2118/166284-MS>.

8. Shepard F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Research*. 1954; 24 (3): 151–158. <https://doi.org/10.1306/d4269774-2b26-11d7-8648000102c1865d>.

9. Vishnyakov S. G. Carbonate rocks and field study of their suitability for soil liming. Carbonate rocks of the Leningrad Region, Northern Krai, and Karelian Autonomous Soviet Socialist Republic. No. 2. Moscow; Leningrad; 1933. P. 3–22. (In Russ.).

10. Kola Superdeep. Scientific results and research experience / Eds. V. P. Orlov, N. P. Laverov. Moscow: IF "TECHNONEFTEGAZ"; 1998. 260 p. (In Russ.).

---

## Иван Андреевич Зинченко

Руководитель направления

Группа компаний «Газпром нефть»,  
Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0009-3383-9826>  
ResearcherID NCV-8370-2025  
SPIN-код РИНЦ 2457-8925  
Zinchenko.IA@gazprom-neft.ru

## Ivan A. Zinchenko

Discipline Lead

Gazprom Neft Group of Companies,  
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0009-3383-9826>  
ResearcherID NCV-8370-2025  
RSCI SPIN-code 2457-8925  
Zinchenko.IA@gazprom-neft.ru

---

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** the author declares no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 24.02.2025  
Одобрена после рецензирования 05.05.2025  
Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 24.02.2025  
Approved after reviewing 05.05.2025  
Accepted for publication 20.06.2025

Научная статья

УДК 553.495:550.84(470.6)

doi.org/10.52349/0869-7892\_2025\_102\_107-116

**Перспективы ураноносности  
юга европейской части России  
(по результатам геохимических исследований)****Л. А. Криночкин<sup>1</sup>, О. К. Криночкина<sup>2</sup>,  
В. А. Килипко<sup>1</sup>, В. И. Блоков<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия, blok\_off@mail.ru<sup>2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия**Ключевые слова:** уран, минерально-сырьевая база, аномальная геохимическая площадь**Для цитирования:** Перспективы ураноносности юга европейской части России (по результатам геохимических исследований) / Л. А. Криночкин [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 107–116. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_107-116](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_107-116)

Original article

UDC 553.495:550.84(470.6)

doi.org/10.52349/0869-7892\_2025\_102\_107-116

**Prospects for uranium potential  
in South European Russia  
(based on geochemical studies)****L. A. Krinochkin<sup>1</sup>, O. K. Krinochkina<sup>2</sup>,  
V. A. Kilipko<sup>1</sup>, V. I. Blokov<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia, blok\_off@mail.ru<sup>2</sup>Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia**Keywords:** uranium, mineral resources base, anomalous geochemical area**For citation:** Prospects for uranium potential in South European Russia (based on geochemical studies) / L. A. Krinochkin [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (2): 107–116. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_107-116](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_107-116)**Abstract.** The paper addresses geochemical characteristics of South European Russia, which assess prospects for uranium potential in order to expand the uranium mineral resources base in the region. The research corresponded to providing a geochemical basis for the L-38 sheet of the geological map (scale of 1 : 100,000). Soils and sediments were tested over a 10 × 10 km network. In the samples, the inductively coupled plasma mass spectrometric method determined contents of mobile forms of uranium and other elements (60 in total). Identification of nine areas promising for discovery of commercial uranium deposits, including the paleodoline type, represents a practical value of the research. The research findings are important, since they forecast expansion of the uranium raw materials base in a well-developed and accessible region with known deposits, but with limited reserves of strategic mineral raw materials.

## ВВЕДЕНИЕ

Уран, как один из наиболее важных и дефицитных полезных ископаемых, включен в перечень основных видов стратегического минерального сырья, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 августа 2022 г. (№ 2473-р).

Около 95 % общих запасов урана в России сконцентрировано в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах [1]. В связи с этим наращивание сырьевой базы урана в хорошо освоенных районах чрезвычайно актуально. По мнению авторов статьи, одним из таких регионов является юг европейской части территории Российской Федерации, где месторождения урана уже известны, но запасы их ограничены.

Настоящая статья подготовлена по материалам создания геохимической основы Госгеолкарты-1000, полученным в ходе региональных геохимических работ на листе L-38, расположенном на границе Кавказского и Южного федеральных округов. Авторы основной своей задачей считают обратить внимание на возможность обнаружения в южной части Российской Федерации новых месторождений урана, в том числе и высокопродуктивного палеодолинного типа.

### *Краткая характеристика района исследования*

По данным [2], основную часть изученной территории представляет Мизийско-Скифско-Туранская платформа, на северо-востоке — незначительный фрагмент Восточно-Европейской платформы, а на юго-западе — Северо-Кавказская складчатая область.

Практически повсеместно распространены отложения ураноносного комплекса, так называемых нижнемиоценовых «рыбных» горизонтов. Он вмещает большое число известных, но малых месторождений осадочного органогенно-фосфатного типа стратиформной уран-фосфорно-редкоземельной рудной формации (рисунок).

Миоценовые отложения караган-конского и сарматского комплексов распространены в основном в западной части территории. Караган-конский комплекс содержит промышленные концентрации урана палеодолинного типа (Балковское рудопроявление и ряд пунктов минерализации).

В подземных водах сарматского и апшерон-акчагыльского водоносных комплексов выявлены площадные аномалии с концентрацией урана более  $1 \times 10^{-5}$  г/л.

Важной предпосылкой для прогнозирования гидрогенных урановых месторождений *палеодолинного типа* являются довольно многочисленные палеоврезы. На рисунке показаны оси наиболее протяженных из них, к которым приурочены потенциально ураноносные аномальные геохимические площади (далее — АГХП). В связи с зонами пластового окисления в отложениях сарматского и апшерон-акчагыльского формационных комплексов возможно обнаружение промышленного гидрогенного уранового оруденения *типа зон пластового окисления*.

В пределах складчато-глыбового сооружения Большого Кавказа известны Быкогорское и Бештаугорское месторождения урановой гидротермально-метасоматической рудной формации, связанные с интрузивными образованиями кавминводского магматического комплекса [3].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

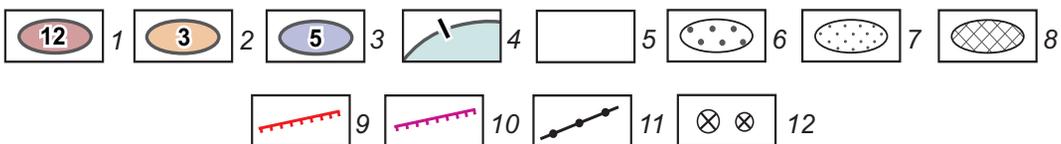
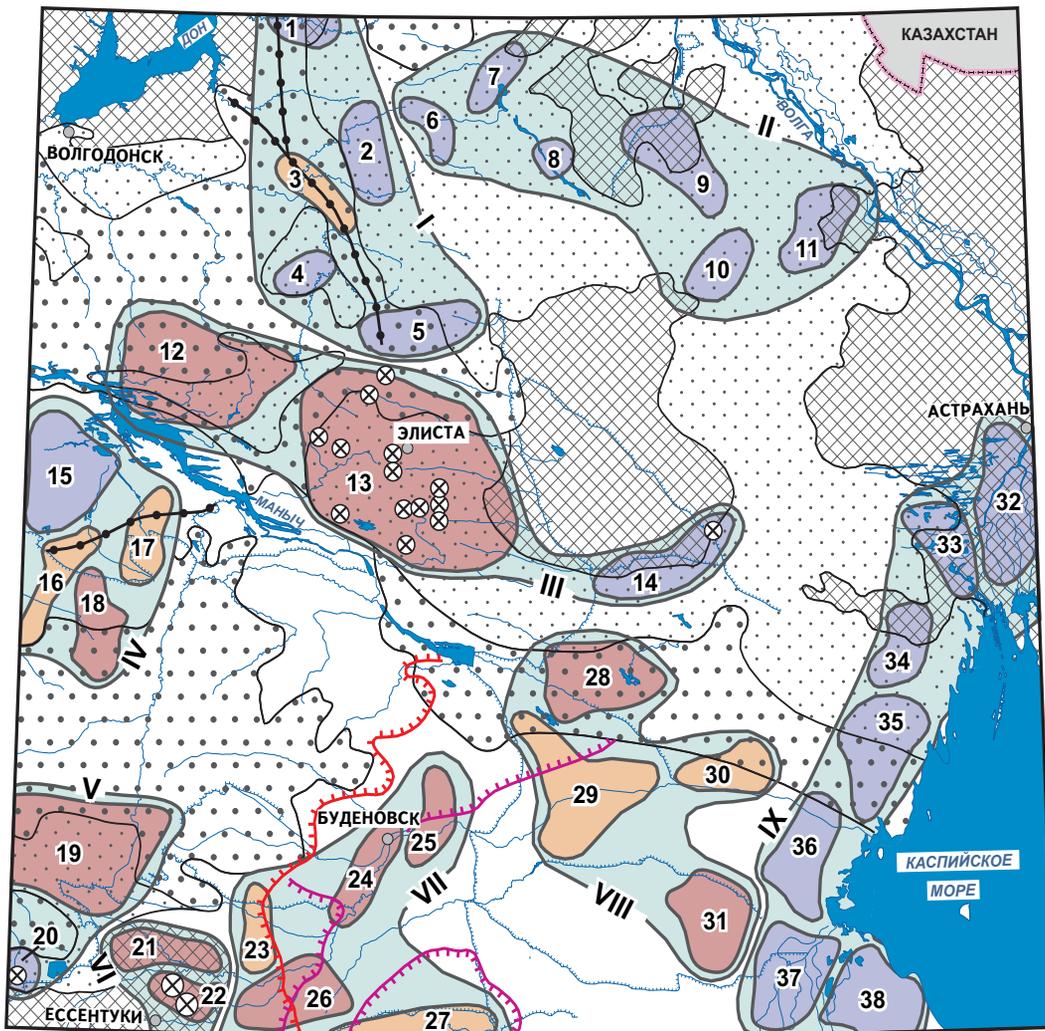
Оценка ураноносности территории базируется на результатах регионального геохимического изучения распределения подвижных (наложенных) форм урана и его спутников в почвах и донных отложениях. Эффективность их использования для выявления месторождений полезных ископаемых, залегающих в платформенном чехле и даже в фундаменте, доказана геохимическими исследованиями Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов [4]. Скрыто- и перекрыто-залегающие месторождения на поверхности фиксируются наложенными геохимическими ореолами в деполирующих средах.

На площади 193,7 тыс. км<sup>2</sup> было отобрано 2475 почвенных проб и 702 пробы донных отложений. В соответствии с [5] и требованиями к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования, пробы почв отбирались из закопшек глубиной до 60 см и более, что обеспечивало отбор проб из горизонтов В и В-С. Для анализа из материала проб почв и донных осадков отбирались навески фракции размером 1 мм и менее.

Определение подвижных форм элементов проводилось в вытяжках, извлеченных из материала навесок раствором 1-молярной азотной кислоты, на основе методики ИСАМ № 500-МС «Определение элементного состава азотнокислых и ацетатно-аммонийных вытяжек из почв методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой» (ИПТМ РАН, 2017 г.). В них методом ICP-MS определялось содержание 60 элементов, в том числе урана и его спутников — Th, Mo, Pb, Se, Sc, Re, Tl, TR и др., в аналитическом центре Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов.

Объекты оценки — аномальные геохимические площади районов и узлов — выделялись как площади сплошного развития комплексных аномалий урана и его спутников, которые оконтуривались по содержаниям, превышающим местный геохимический фон в 2 раза и более ( $K_c \geq 2$  ф). Использование местного геохимического фона для выделения и оценки рудогенных геохимических аномалий позволяет минимизировать помехи от природно-повышенных концентраций элементов нерудной природы [6].

Интерпретация АГХП включала определение их рудно-формационной принадлежности и оценку перспективности. В основе интерпретации природы геохимических аномалий лежит формационный принцип, базирующийся на сходстве состава АГХП и источника вещества [7]. Устойчивая связь между составом аномальных геохимических полей и их металлогенией является следствием того, что



**Прогноз ураноносности юга европейской части России**

1–3 — перспективность аномальных геохимических площадей и их номера: 1 — перспективная, 2 — неясная, 3 — низкая; 4 — геохимические зоны и их номера; 5–7 — области распространения формационных комплексов, продуктивных на гидрогенное урановое оруденение: 5 — апшерон-акчагальский комплекс с неустойчивым литологическим составом и затрудненной циркуляцией подземных вод, 6 — сарматский и караган-конкский комплексы с литологическим составом, благоприятным для циркуляции подземных вод, и с первичной концентрацией урана в отложениях среднего сармата и промышленных концентраций урана в яшкульской серии и большеянкульской свите, 7 — ураноносные олигоцен-нижнемиоценовые «рыбные» горизонты; 8 — комплексы, продуктивные на гидрогенное урановое оруденение, отсутствуют; 9, 10 — выклинивание зон пластового окисления в формационных комплексах: 9 — сарматском, 10 — апшерон-акчагальском (бергштрихи в сторону окислительной обстановки); 11 — оси палеоврезов; 12 — месторождения урана средние и малые

**Prediction of uranium potential in South European Russia**

1–3 — prospects of anomalous geochemical areas and their numbers: 1 — promising, 2 — unclear, 3 — low; 4 — geochemical zones and their numbers; 5–7 — distribution areas of formational complexes fertile for hydrogenic uranium mineralization: 5 — Absheron-Akchagyl complex with unstable lithological composition and constrained groundwater circulation, 6 — Sarmatian and Karagan-Konka complexes with a lithological composition favorable for groundwater circulation and with a primary concentration of uranium in the Middle Sarmatian sediments and industrial concentrations of uranium in the Yashkul series and Bolshoy Yankul Formation, 7 — Oligocene — Lower Miocene uranium-bearing “fish” horizons; 8 — no complexes fertile for hydrogenic uranium mineralization; 9, 10 — wedging out zones of reservoir oxidation in formational complexes: 9 — Sarmatian, 10 — Absheron-Akchagyl (bergstrichs towards the oxidative environment); 11 — axes of paleochannels; 12 — medium and small uranium deposits

рудобразующие элементы и их спутники образуют наиболее обширные поля и характеризуются более интенсивным накоплением и высокой неоднородностью геохимических полей в сравнении с другими элементами. Как правило, они располагаются в головных частях геохимических ассоциаций, характеризующих АГХП.

В условиях скрыто-перекрытого залегания прогнозируемого оруденения, не позволяющих достоверно оценить его ресурсный потенциал по геохимическим данным, оценка перспективности аномальных геохимических площадей проводится путем сопоставления их геохимических характеристик с эталонными [8]. Критерии, учитывающие геохимические особенности (состав, комплексность, интенсивность и степень неоднородности распределения содержаний рудообразующих элементов и их спутников) АГХП, их размеры, геологическую позицию, наличие месторождений и проявлений урана определенных рудных формаций и др., позволяют успешно решать вопросы перспективности АГХП.

Геохимические ассоциации представляют собой ряды ранжированных по интенсивности накопления аномалеобразующих элементов, которая определялась значениями коэффициентов накопления ( $K_c$ ), рассчитанными нормированием средних содержаний элементов на их местный геохимический фон (таблица). Использовались три уровня интенсивности накопления элементов: высокий ( $K_c > 4,0$ ), умеренный ( $K_c = 4,0-2,0$ ) и низкий ( $K_c < 2,0$ ).

Степень неоднородности распределения урана и его спутников оценивалась по значениям коэффициента вариации ( $V$ ) их содержаний: высокая ( $V > 75\%$ ), средняя ( $V = 75-50\%$ ) и низкая ( $V < 50\%$ ). Известно, что высокая неоднородность распределения содержаний присуща геохимическим ореолам рудных залежей [9].

Геохимические ассоциации (ранжированные ряды) перспективных объектов приведены в таблице. В них подстрочный индекс отвечает значению коэффициента накопления, надстрочный индекс — коэффициенту вариации содержаний элементов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что аномальные геохимические поля урана и его спутников в почвах фиксируют все известные урановорудные районы и узлы и широко распространены за их пределами. В донных отложениях их аномалии локализуются на тех же площадях, что и в почвах, но они, как правило, менее контрастны.

На территории листа выделено 9 геохимических зон (далее — ГХЗ), включающих 38 урановорудных и потенциальных урановорудных АГХП в ранге рудных районов и узлов разной рудно-формационной принадлежности (рисунок).

На осадочный органогенно-фосфатный тип стратиформной уран-фосфорно-редкоземельной в костных остатках терригенной рудной формации в отложениях олигоцена — нижнего миоцена специализированы Ухтинская (II), Элистинская (III) и Черкесская (V) геохимические зоны.

Элистинская ГХЗ (III) наиболее продуктивна. В ее пределах расположена *Элистинская АГХП* (13), соответствующая одноименному урановорудному району (рисунок), в котором сосредоточена основная часть известных месторождений, проявлений и пунктов минерализации описываемой ниже рудной формации.

Ураноносные отложения района состоят из глин (60–70%), сульфидов железа (20–25%) и костного детрита рыб (15–20%). В фосфатном веществе содержится уран до 0,2%, с сульфидной частью руд в основном связаны редкоземельные элементы цериевой и иттриевой групп (0,5–1,0%), Sc (десятки, иногда сотни г/т), Ni, Co, Mo, Pb, Zn, As ( $n \times 10^{-1}$  —  $n \times 10^{-2}$ %) и Re (до  $n \times 10^{-4}$ %). Продуктивный горизонт на хорошо изученном Яшкульском месторождении, расположенном на северном фланге района, залегает на глубинах 340–406 м. Прогнозные ресурсы урана Элистинского района по категории  $P_3$  оцениваются в 100 000 т [2].

Аномальное геохимическое поле Элистинской АГХП имеет значительную площадь (6471 км<sup>2</sup>) и достаточно надежно геохимически изучено в почвах (73 пробы) и донных отложениях (43 пробы).

Ореолы урана преимущественно локализуются на периферии района, что объясняется залеганием руд в депрессионной структуре, на флангах которой продуктивный пласт приближается к поверхности. Аномальное геохимическое поле в почвах и донных отложениях имеет комплексный состав. Общими для них являются элементы-индикаторы уранового оруденения — U, Mo, Th, Ag, Se, Bi, Fe, Re, Sc (таблица).

Концентрации химических элементов в почвах и донных осадках района относительно невысокие, что может объясняться перекрытым залеганием рудных залежей. Однако распределение урана и части его спутников (Mo, Th, Ag, Zr, Se) в почвах характеризуется высокими значениями коэффициента вариации.

В донных отложениях, по сравнению с почвами, накопление урана и его спутников несколько ниже, а высокой неоднородностью распределения отличаются только Mo, Sc, Tl.

Достаточно хорошая геолого-геохимическая изученность Элистинской АГХП позволяет использовать ее характеристики в качестве эталонных для выявленных АГХП, специализированных на уран-фосфорно-редкоземельную рудную формацию. К таким АГХП, прежде всего, относятся Пролетарская и Цубукская, расположенные в одной геохимической зоне с Элистинской АГХП.

Из них перспективной считается *Пролетарская АГХП* (12). Она характеризуется достаточно крупными размерами (таблица) и геологической позицией, аналогичной Элистинской АГХП (рисунок), но более высокими накоплением и неоднородностью распределения урана и его спутников в почвах и донных отложениях по сравнению с последней.

В пределах *Цубукской АГХП* (14) известно одноименное малое месторождение уран-фосфорно-редкоземельной рудной формации. Геохимической особенностью ассоциации данной АГХП является широкое представительство в ней спутников урана,

**Характеристика перспективных и эталонных аномальных геохимических площадей**

## Characteristics of promising and standard anomalous geochemical areas

Номер, название районов (ГХР) и узлов (ГХУ) (площадь, км <sup>2</sup> )	Изученный компонент ПГС (кол-во проб)	Геохимическая ассоциация накопления (подстрочный индекс — коэффициент накопления, надстрочный индекс — коэффициент вариации)
<b>Уран-фосфорно-редкоземельная рудная формация</b>		
Элистинская ГХЗ (III)		
12. Пролетарский ГХР (2841)	Почвы (20)	Mo <sup>201</sup> <sub>7,2</sub> , Th <sup>122</sup> <sub>4,6</sub> , U <sup>93</sup> <sub>2,4</sub> , Cs <sup>61</sup> <sub>2,1</sub> , Bi <sup>45</sup> <sub>1,7</sub> , As <sup>65</sup> <sub>1,7</sub> , Ti <sup>53</sup> <sub>1,7</sub> , Sr <sup>55</sup> <sub>1,6</sub> , Rb <sup>63</sup> <sub>1,6</sub> , Zr <sup>56</sup> <sub>1,5</sub>
	Донные отложения (14)	U <sup>99</sup> <sub>1,8</sub> , Te <sup>58</sup> <sub>1,8</sub> , Re <sup>86</sup> <sub>1,8</sub> , Sr <sup>117</sup> <sub>1,7</sub> , Mo <sup>81</sup> <sub>1,5</sub> , Fe <sup>75</sup> <sub>1,5</sub>
13. Элистинский ГХР (6471)	Почвы (73)	Mo <sup>131</sup> <sub>3,9</sub> , Th <sup>113</sup> <sub>3,8</sub> , Ag <sup>95</sup> <sub>2,4</sub> , Bi <sup>56</sup> <sub>2,1</sub> , U <sup>83</sup> <sub>1,7</sub> , Zr <sup>91</sup> <sub>1,7</sub> , Se <sup>78</sup> <sub>1,6</sub> , Sb <sup>68</sup> <sub>1,5</sub> , W <sup>146</sup> <sub>1,5</sub>
	Донные отложения (43)	Mn <sup>272</sup> <sub>2,2</sub> , Se <sup>65</sup> <sub>2,1</sub> , Ag <sup>64</sup> <sub>2,1</sub> , Mo <sup>133</sup> <sub>2,0</sub> , Fe <sup>67</sup> <sub>1,8</sub> , Re <sup>51</sup> <sub>1,7</sub> , Bi <sup>87</sup> <sub>1,7</sub> , Sr <sup>82</sup> <sub>1,7</sub> , Sn <sup>77</sup> <sub>1,6</sub> Sc <sup>79</sup> <sub>1,5</sub> , U <sup>64</sup> <sub>1,5</sub> , Ti <sup>134</sup> <sub>1,5</sub> , Th <sup>67</sup> <sub>1,5</sub> , Te <sup>55</sup> <sub>1,5</sub>
Черкесская ГХЗ (V)		
19. Большеянкульский ГХР (2913)	Почвы (95)	Th <sup>125</sup> <sub>7,9</sub> , Au <sup>235</sup> <sub>7,4</sub> , Bi <sup>88</sup> <sub>3,4</sub> , U <sup>65</sup> <sub>3,0</sub> , Mo <sup>177</sup> <sub>2,6</sub> , Re <sup>59</sup> <sub>2,4</sub> , Fe <sup>57</sup> <sub>2,1</sub> , Sc <sup>65</sup> <sub>2,0</sub> , Se <sup>54</sup> <sub>1,8</sub> , Te <sup>66</sup> <sub>1,7</sub> Cu <sup>50</sup> <sub>1,5</sub> , Ge <sup>37</sup> <sub>1,5</sub> , Zr <sup>68</sup> <sub>1,5</sub> , Co <sup>42</sup> <sub>1,5</sub> , Ni <sup>63</sup> <sub>1,5</sub> , Ce <sup>31</sup> <sub>1,5</sub>
	Донные отложения (38)	Th <sup>71</sup> <sub>1,9</sub> , Sc <sup>46</sup> <sub>1,8</sub> , Lu <sup>34</sup> <sub>1,6</sub> , Yb <sup>34</sup> <sub>1,6</sub> , Ce <sup>38</sup> <sub>1,6</sub> , Tm <sup>33</sup> <sub>1,6</sub> , Er <sup>33</sup> <sub>1,6</sub> , Cs <sup>69</sup> <sub>1,6</sub> , Co <sup>36</sup> <sub>1,6</sub> , Nd <sup>33</sup> <sub>1,6</sub> , Fe <sup>69</sup> <sub>1,6</sub> , Ho <sup>33</sup> <sub>1,6</sub> , Pr <sup>32</sup> <sub>1,5</sub> , Sm <sup>32</sup> <sub>1,5</sub> Eu <sup>31</sup> <sub>1,5</sub> , Y <sup>30</sup> <sub>1,5</sub> , Dy <sup>32</sup> <sub>1,5</sub> , Te <sup>46</sup> <sub>1,5</sub> , La <sup>32</sup> <sub>1,5</sub> , Be <sup>31</sup> <sub>1,5</sub> , Gd <sup>31</sup> <sub>1,5</sub> , U <sup>40</sup> <sub>1,4</sub>
20. Черкесский ГХУ (236)	Почвы (4)	W <sup>88</sup> <sub>4,7</sub> , Mo <sup>74</sup> <sub>4,5</sub> , U <sup>125</sup> <sub>4,3</sub> , Ta <sup>111</sup> <sub>4,1</sub> , Th <sup>99</sup> <sub>2,6</sub> , Zn <sup>51</sup> <sub>2,5</sub> , Cu <sup>44</sup> <sub>2,4</sub> , Ti <sup>67</sup> <sub>2,1</sub> , Te <sup>50</sup> <sub>2,0</sub> , P <sup>115</sup> <sub>1,9</sub> , Bi <sup>57</sup> <sub>1,7</sub> , Cs <sup>28</sup> <sub>1,7</sub> , Sc <sup>57</sup> <sub>1,6</sub> , Sr <sup>46</sup> <sub>1,5</sub>
<b>Урановая гидротермально-метасоматическая рудная формация</b>		
Пятигорская ГХЗ (VI)		
21. Северо-Минводский ГХР (2913)	Почвы (40)	Mo <sup>131</sup> <sub>4,8</sub> , U <sup>85</sup> <sub>3,7</sub> , Au <sup>217</sup> <sub>3,0</sub> , Re <sup>79</sup> <sub>2,9</sub> , Cd <sup>177</sup> <sub>2,6</sub> , Th <sup>93</sup> <sub>2,3</sub> , Cu <sup>92</sup> <sub>2,0</sub> , Bi <sup>91</sup> <sub>1,9</sub> , Sb <sup>76</sup> <sub>1,8</sub>
	Донные отложения (7)	Re <sup>159</sup> <sub>24,6</sub> , Mo <sup>94</sup> <sub>7,1</sub> , Sc <sup>99</sup> <sub>5,4</sub> , Ti <sup>125</sup> <sub>4,0</sub> , Cd <sup>77</sup> <sub>2,6</sub> , U <sup>64</sup> <sub>2,5</sub> , Zn <sup>119</sup> <sub>2,4</sub> , Zr <sup>71</sup> <sub>2,4</sub> , Bi <sup>84</sup> <sub>2,3</sub> , Cu <sup>52</sup> <sub>2,2</sub> , V <sup>65</sup> <sub>2,2</sub> , Tl <sup>118</sup> <sub>2,1</sub> , Fe <sup>59</sup> <sub>2,0</sub> , Sb <sup>49</sup> <sub>2,0</sub> Lu <sup>52</sup> <sub>1,9</sub> , Ag <sup>72</sup> <sub>1,9</sub> , Yb <sup>49</sup> <sub>1,9</sub> , Ho <sup>48</sup> <sub>1,9</sub> , Tm <sup>50</sup> <sub>1,8</sub> , Dy <sup>48</sup> <sub>1,8</sub> , Be <sup>21</sup> <sub>1,8</sub> , Er <sup>45</sup> <sub>1,8</sub> , Tb <sup>46</sup> <sub>1,8</sub> , W <sup>46</sup> <sub>1,8</sub> , Sm <sup>45</sup> <sub>1,8</sub> , Pb <sup>45</sup> <sub>1,8</sub> , Gd <sup>42</sup> <sub>1,8</sub> , Eu <sup>42</sup> <sub>1,8</sub> Co <sup>44</sup> <sub>1,7</sub> , Ga <sup>35</sup> <sub>1,7</sub> , Se <sup>57</sup> <sub>1,7</sub> , Nd <sup>41</sup> <sub>1,7</sub> , Y <sup>35</sup> <sub>1,6</sub> , Pr <sup>40</sup> <sub>1,6</sub> , Cr <sup>43</sup> <sub>1,6</sub> , Ce <sup>39</sup> <sub>1,5</sub> , As <sup>67</sup> <sub>1,5</sub> , Ni <sup>33</sup> <sub>1,5</sub>
22. Пятигорский ГХУ (236)	Почвы (19)	U <sup>83</sup> <sub>3,2</sub> , Mo <sup>78</sup> <sub>2,9</sub> , Au <sup>56</sup> <sub>2,1</sub> , (Sr <sup>80</sup> , Cu <sup>127</sup> , Re <sup>64</sup> ) <sub>2,0</sub> , Pb <sup>113</sup> <sub>1,9</sub> , (Bi <sup>70</sup> , Cd <sup>106</sup> , Sb <sup>63</sup> , Sn <sup>190</sup> ) <sub>1,8</sub> , Te <sup>69</sup> <sub>1,7</sub> , (Tl <sup>79</sup> , Th <sup>58</sup> ) <sub>1,6</sub> , (Be <sup>152</sup> , Cs <sup>121</sup> , Zn <sup>82</sup> ) <sub>1,5</sub>
<b>Урановая терригенная палеодолинная рудная формация</b>		
Яшалтинская ГХЗ (IV)		
18. Кугультинский ГХУ (825)	Почвы (15)	Au <sup>88</sup> <sub>3,9</sub> , Mo <sup>125</sup> <sub>3,8</sub> , W <sup>89</sup> <sub>1,9</sub> , As <sup>111</sup> <sub>1,8</sub> , U <sup>111</sup> <sub>1,7</sub> , Bi <sup>109</sup> <sub>1,6</sub> , Sr <sup>82</sup> <sub>1,6</sub> , Th <sup>95</sup> <sub>1,6</sub>
	Донные отложения (11)	Re <sup>145</sup> <sub>2,5</sub> , Au <sup>67</sup> <sub>2,5</sub> , Mn <sup>107</sup> <sub>2,3</sub> , As <sup>68</sup> <sub>2,3</sub> , Mo <sup>120</sup> <sub>2,2</sub> , W <sup>110</sup> <sub>2,2</sub> , Se <sup>116</sup> <sub>2,1</sub> , Sr <sup>53</sup> <sub>2,0</sub> , Te <sup>70</sup> <sub>1,9</sub> , U <sup>50</sup> <sub>1,5</sub> , Zn <sup>129</sup> <sub>1,5</sub> , Tl <sup>47</sup> <sub>1,5</sub>
Ачинеро-Нефтекумская ГХЗ (VIII)		
28. Светловский ГХР (1443)	Почвы (12)	Mo <sup>150</sup> <sub>12,2</sub> , Ag <sup>79</sup> <sub>5,4</sub> , Zr <sup>70</sup> <sub>3,8</sub> , Se <sup>73</sup> <sub>3,0</sub> , As <sup>86</sup> <sub>2,8</sub> , Sr <sup>100</sup> <sub>2,8</sub> , U <sup>116</sup> <sub>2,7</sub> , Tl <sup>82</sup> <sub>2,5</sub> , Sb <sup>56</sup> <sub>2,4</sub> , Th <sup>76</sup> <sub>2,2</sub> , Bi <sup>57</sup> <sub>2,2</sub> , Cr <sup>55</sup> <sub>2,1</sub> , Sc <sup>63</sup> <sub>1,9</sub> , Fe <sup>28</sup> <sub>1,9</sub> , Ni <sup>40</sup> <sub>1,9</sub> , Cu <sup>33</sup> <sub>1,8</sub> , W <sup>69</sup> <sub>1,8</sub> , P <sup>59</sup> <sub>1,8</sub> , Pb <sup>59</sup> <sub>1,7</sub> , V <sup>30</sup> <sub>1,6</sub> , Mn <sup>42</sup> <sub>1,6</sub> , Co <sup>38</sup> <sub>1,6</sub> , Yb <sup>26</sup> <sub>1,5</sub> , Lu <sup>26</sup> <sub>1,5</sub> , Be <sup>37</sup> <sub>1,5</sub> , Tm <sup>23</sup> <sub>1,5</sub> , Ho <sup>24</sup> <sub>1,5</sub>

Номер, название районов (ГХР) и узлов (ГХУ) (площадь, км <sup>2</sup> )	Изученный компонент ПГС (кол-во проб)	Геохимическая ассоциация накопления (подстрочный индекс — коэффициент накопления, надстрочный индекс — коэффициент вариации)
28. Светловский ГХР (1443)	Донные отложения (5)	Re <sup>11</sup> <sub>4,2</sub> , Sr <sup>50</sup> <sub>2,6</sub> , As <sup>90</sup> <sub>2,2</sub> , Sc <sup>77</sup> <sub>2,2</sub> , Bi <sup>63</sup> <sub>1,9</sub> , Mn <sup>105</sup> <sub>1,7</sub> , V <sup>75</sup> <sub>1,7</sub> , Ag <sup>60</sup> <sub>1,7</sub> , Cr <sup>77</sup> <sub>1,7</sub> , Zr <sup>64</sup> <sub>1,6</sub> , Mo <sup>58</sup> <sub>1,5</sub> , U <sup>68</sup> <sub>1,5</sub>
31. Кызылкольский ГХР (1214)	Почвы (14)	Mo <sup>147</sup> <sub>6,4</sub> , U <sup>113</sup> <sub>4,2</sub> , Sr <sup>69</sup> <sub>3,2</sub> , Zr <sup>67</sup> <sub>3,1</sub> , Ag <sup>52</sup> <sub>2,9</sub> , Th <sup>79</sup> <sub>2,9</sub> , Bi <sup>65</sup> <sub>2,7</sub> , Cr <sup>44</sup> <sub>2,3</sub> , As <sup>47</sup> <sub>2,3</sub> , V <sup>61</sup> <sub>2,0</sub> , Ti <sup>62</sup> <sub>1,8</sub> , Fe <sup>41</sup> <sub>1,8</sub> , Sb <sup>52</sup> <sub>1,8</sub> , Cu <sup>41</sup> <sub>1,8</sub> , Pt <sup>37</sup> <sub>1,7</sub> , Te <sup>61</sup> <sub>1,6</sub> , Ni <sup>37</sup> <sub>1,6</sub> , Cd <sup>46</sup> <sub>1,6</sub> , Zn <sup>37</sup> <sub>1,6</sub> , Ge <sup>33</sup> <sub>1,5</sub> , Sc <sup>50</sup> <sub>1,5</sub> , Pb <sup>41</sup> <sub>1,5</sub> , Be <sup>41</sup> <sub>1,5</sub> , Ba <sup>57</sup> <sub>1,5</sub> , W <sup>44</sup> <sub>1,5</sub> , Ga <sup>35</sup> <sub>1,5</sub> , Co <sup>40</sup> <sub>1,5</sub>
<b>Урановая терригенная зон пластового окисления рудная формация</b>		
Буденовская ГХЗ (VII)		
24. Буденовский ГХУ (719)	Почвы (8)	Mo <sup>69</sup> <sub>5,9</sub> , Th <sup>76</sup> <sub>5,4</sub> , Bi <sup>77</sup> <sub>4,5</sub> , Sr <sup>19</sup> <sub>3,7</sub> , U <sup>23</sup> <sub>3,5</sub> , Re <sup>78</sup> <sub>2,7</sub> , Rh <sup>42</sup> <sub>2,7</sub> , Ti <sup>45</sup> <sub>2,6</sub> , Fe <sup>25</sup> <sub>2,5</sub> , Cr <sup>57</sup> <sub>2,2</sub> , Ni <sup>52</sup> <sub>2,2</sub> , Pd <sup>45</sup> <sub>2,1</sub> , Sc <sup>29</sup> <sub>2</sub> , W <sup>66</sup> <sub>1,9</sub> , Cs <sup>31</sup> <sub>1,9</sub> , Cd <sup>37</sup> <sub>1,9</sub> , Te <sup>29</sup> <sub>1,8</sub> , Zr <sup>53</sup> <sub>1,8</sub> , Ba <sup>45</sup> <sub>1,7</sub> , As <sup>28</sup> <sub>1,6</sub> , Ge <sup>20</sup> <sub>1,6</sub> , Se <sup>34</sup> <sub>1,5</sub> , Mn <sup>18</sup> <sub>1,5</sub> , Zn <sup>26</sup> <sub>1,5</sub> , Nb <sup>50</sup> <sub>1,5</sub>
	Донные отложения (6)	Cr <sup>89</sup> <sub>3,6</sub> , Re <sup>73</sup> <sub>3,3</sub> , Mo <sup>68</sup> <sub>3,1</sub> , Au <sup>50</sup> <sub>1,9</sub> , Ti <sup>19</sup> <sub>1,8</sub> , Cs <sup>61</sup> <sub>1,8</sub> , Zn <sup>35</sup> <sub>1,8</sub> , W <sup>98</sup> <sub>1,8</sub> , Fe <sup>43</sup> <sub>1,8</sub> , Ni <sup>64</sup> <sub>1,8</sub> , Sn <sup>52</sup> <sub>1,7</sub> , Sb <sup>46</sup> <sub>1,7</sub> , Cd <sup>35</sup> <sub>1,6</sub> , U <sup>50</sup> <sub>1,6</sub> , Rh <sup>22</sup> <sub>1,6</sub> , Cu <sup>45</sup> <sub>1,6</sub> , Se <sup>31</sup> <sub>1,5</sub> , Sr <sup>20</sup> <sub>1,5</sub> , P <sup>15</sup> <sub>1,5</sub>
25. Восточно-Буденовский ГХУ (607)	Почвы (7)	Th <sup>82</sup> <sub>6,2</sub> , Mo <sup>88</sup> <sub>5,7</sub> , Re <sup>181</sup> <sub>5</sub> , Bi <sup>54</sup> <sub>3,7</sub> , U <sup>47</sup> <sub>3,7</sub> , Rh <sup>50</sup> <sub>3</sub> , Se <sup>154</sup> <sub>3</sub> , Sr <sup>47</sup> <sub>2,5</sub> , Nb <sup>100</sup> <sub>2,4</sub> , Ti <sup>44</sup> <sub>2</sub> , Fe <sup>58</sup> <sub>1,7</sub> , Zr <sup>33</sup> <sub>1,7</sub> , As <sup>28</sup> <sub>1,6</sub> , Te <sup>51</sup> <sub>1,6</sub> , Sb <sup>56</sup> <sub>1,6</sub> , Cd <sup>52</sup> <sub>1,5</sub> , Pd <sup>31</sup> <sub>1,5</sub>
	Донные отложения (3)	Cr <sup>39</sup> <sub>1,8</sub> , Cs <sup>29</sup> <sub>1,8</sub> , Au <sup>31</sup> <sub>1,7</sub> , Zn <sup>65</sup> <sub>1,5</sub>
26. Георгиевский ГХР (1233)	Почвы (19)	Mo <sup>97</sup> <sub>7</sub> , Th <sup>184</sup> <sub>6</sub> , U <sup>87</sup> <sub>3,4</sub> , Bi <sup>63</sup> <sub>2,7</sub> , Sr <sup>50</sup> <sub>2,2</sub> , Rh <sup>52</sup> <sub>2,1</sub> , Te <sup>66</sup> <sub>2</sub> , As <sup>66</sup> <sub>1,9</sub> , Se <sup>56</sup> <sub>1,8</sub> , Cd <sup>43</sup> <sub>1,8</sub> , Sb <sup>51</sup> <sub>1,8</sub> , Re <sup>81</sup> <sub>1,8</sub> , Fe <sup>54</sup> <sub>1,7</sub> , Ti <sup>54</sup> <sub>1,7</sub> , Zn <sup>38</sup> <sub>1,5</sub> , Zr <sup>68</sup> <sub>1,5</sub> , W <sup>92</sup> <sub>1,5</sub>
	Донные отложения (14)	Cs <sup>120</sup> <sub>5,8</sub> , Mo <sup>102</sup> <sub>3</sub> , U <sup>161</sup> <sub>2,5</sub> , Zn <sup>88</sup> <sub>2</sub> , Au <sup>49</sup> <sub>2</sub> , Ti <sup>24</sup> <sub>1,9</sub> , Re <sup>75</sup> <sub>1,8</sub> , Cu <sup>138</sup> <sub>1,8</sub> , Bi <sup>91</sup> <sub>1,8</sub> , Sb <sup>40</sup> <sub>1,6</sub>

в том числе и редкоземельных элементов. Однако они характеризуются низкими значениями Кс и У, что при локальности АГХП не позволяет прогнозировать существенный прирост ресурсного потенциала урана Цубукского месторождения (14).

Черкесская ГХЗ (V) приурочена к Южно-Ставропольскому поднятию в области затухания Центрально-Кавказской складчато-разрывной зоны. Здесь известно малое Черкесское месторождение уран-фосфорно-редкоземельной рудной формации в «рыбных» остатках караджалгинской свиты. Продуктивный горизонт, сложенный глинами, обогащенными сульфидами железа и ураноносным костным детритом, залегает на глубинах от 11 до 200 м. Среднее содержание урана в руде составляет 0,008 %, а в рыбном концентрате — 0,7 %. В рудах отмечаются повышенные содержания Мо, Pb, Zn, Ni, S, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sc и TR [3].

Черкесскую АГХП (20) в почвах характеризуют достаточно высокие для положительного прогноза накопление и вариации содержаний урана и его спутников, но локальность АГХП не позволяет положительно оценивать перспективы расширения ресурсного потенциала урана известного Черкесского месторождения. Интерес здесь может представлять возможное продолжение АГХП в западном направлении за пределами изученной территории.

Большаяянкульская АГХП (19) достаточно надежно геохимически изучена (таблица). В ее почвах уран и часть его спутников характеризуются высоким накоплением и резко выраженной неоднородностью распределения содержаний. Это, наряду с благоприятной геологической позицией и значительной площадью (2913 км<sup>2</sup>), позволяет считать Большаяянкульскую АГХП перспективной на обнаружение промышленных месторождений урана, связанных с костным детритом.

К осадочному органогенному типу также отнесена урановая лагунно-аллювиальная рудная формация, прогнозируемая в АГХП Каспийской ГХЗ (IX), локализованной в прибрежной зоне на лагунно-аллювиальных отложениях. Но с учетом невысоких геохимических характеристик аномальных полей урана и малой мощности (первые метры) потенциально ураноносных отложений перспективность АГХП Каспийской ГХЗ оценена как низкая.

На гидротермально-метасоматическую урановую граносиенит-порфировую рудную формацию специализирована Пятигорская ГХЗ (VI). Формация связана с интрузивными образованиями кавминводского магматического комплекса [3].

Геохимическая зона расположена в пределах Минераловодского складчато-глыбового сооружения

Большого Кавказа. Территория зоны достаточно «открыта» и позволяет оценить ресурсный потенциал локализованных АГХП по геохимическим данным прямым расчетом.

*Пятигорская АГХП* (22) отвечает Кавминводскому урановому рудному узлу со средними по запасам Бештаугорским и Быкогорским месторождениями урана. Оруденение развито в гранит-порфирах и дацитах лакколита плиоценового возраста. Рудные тела в виде линз, жил и столбов залегают в зонах дробления. Содержание урана в рудных телах — до 1 %. С урановыми минералами ассоциируют пирит, галенит, флюорит, окислы железа и марганца. Во внешней зоне уранового оруденения установлена минерализация свинца, цинка, ртути [2].

Территория АГХП достаточно хорошо изучена в почвах (таблица). Особенностью ранжированного ряда является головное положение в нем U, Mo, Au, Cu, Re, отражающих не только минерагеническую специализацию на уран, но и позволяющих прогнозировать медно-порфировое с золотом и рением оруденение. Присутствие в ранжированном ряду в более низких концентрациях свинца и цинка может быть связано с полиметаллической минерализацией, которая характерна для внешних зон уранового оруденения гидротермально-метасоматического типа.

Ресурсный потенциал урана по геохимическим данным оценивается средней категорией, что при наличии двух средних урановых месторождений не предполагает существенного прироста запасов урана в Пятигорской АГХП.

Ресурсный потенциал других полезных ископаемых также оценивается средней категорией: Cu — 399 890 т, Mo — 12 900 т, Pb — 115 172 т, Zn — 227 440 т, золота — 2,3 т.

*Северо-Минводская АГХП* (21) по геологической позиции является аналогом Пятигорской АГХП, и ее перспективность по геохимическим данным также оценивается положительно (рисунок).

Аномальное геохимическое поле достаточно хорошо изучено в почвах, где его характеризует ассоциация элементов, аналогичная таковой Пятигорской АГХП (таблица). Ранжированный ряд возглавляют те же элементы. Донные отложения характеризуются, как правило, более высокими концентрациями урана и его спутников, низким уровнем накопления и однородностью распределения содержаний редкоземельных элементов.

Состав ранжированных рядов Северо-Минводской АГХП в почвах и донных отложениях позволяет прогнозировать в ней не только месторождения урановой граносиенит-порфировой рудной формации, но и медно-молибденовой с золотом порфировой гранитной. По геохимическим данным ресурсный потенциал U и Se оценивается как высокий, тогда как Mo (13 900 т), Cu (211 155 т) и Au (7 т) — как средний.

Урановое гидрогенное оруденение на изученной территории прогнозируется двух типов: палеодолинный и зон пластового окисления.

На оруденение урановой терригенной сероцветной палеодолинной рудной формации специализи-

рованы геохимические зоны: Октябрьская (I), Яшалтинская (IV) и Ачинеро-Нефтекумская (VIII).

Урановое оруденение этого типа представлено одним Балковским проявлением (в Октябрьской ГХЗ) и рядом пунктов минерализации в средней части яшукульской серии миоцена (на остальной части территории). На рудопоявление выделены пять рудных залежей лентовидной формы на глубинах 128–140 м длиной от 500 до 1500 м и шириной 50–250 м. Содержание урана составляет 0,005–0,023 %, иногда 0,09–0,15 %. Содержание подвижной формы урана — 70–93 % от валовых концентраций. Прогнозные ресурсы по категории P<sub>3</sub> оцениваются в 700 т урана и 150 т селена [2].

Геохимическую ассоциацию Балковской АГХП характеризует низкая интенсивность накопления урана и большинства его спутников. Однако АГХП локально и геохимически изучена слабо. Поэтому в качестве эталонных для оценки перспективности объектов гидрогенного типа использовались характеристики аномального поля Долматовского и Хохловского районов, специализированных на палеодолинный тип уранового оруденения [10; 11]. Их геохимическая ассоциация в донных отложениях высококомплексная — U<sup>117</sup><sub>3,6r</sub>, Th<sup>115</sup><sub>3,0r</sub>, Hf<sup>75</sup><sub>2,4r</sub>, Zr<sup>73</sup><sub>2,4r</sub>, Pb<sup>155</sup><sub>2,4r</sub>, (Be<sup>72</sup>, Sr<sup>69</sup>)<sub>2,3r</sub>, Co<sup>108</sup><sub>2,1r</sub>, (Bi<sup>82</sup>, Ag<sup>83</sup>)<sub>2,0r</sub>, (Cu<sup>51</sup>, Sc<sup>77</sup>)<sub>1,9r</sub>, V<sup>75</sup><sub>1,8r</sub>, Ba<sup>96</sup><sub>1,7r</sub>, TR<sup>54–58</sup><sub>1,9–1,5r</sub>. Комплексность почвенной ассоциации меньше: U<sup>167</sup><sub>4,5r</sub>, Zn<sup>208</sup><sub>4,0r</sub>, Mo<sup>183</sup><sub>2,2r</sub>, Sr<sup>97</sup><sub>2,2r</sub>, Th<sup>90</sup><sub>1,9r</sub>, Hf<sup>78</sup><sub>1,9r</sub>, Cs<sup>96</sup><sub>1,7r</sub>, Zr<sup>78</sup><sub>1,6r</sub>. Для обеих ассоциаций характерны широкий диапазон накопления элементов-индикаторов и высокая (V > 75 %) неоднородность распределения их содержаний.

Октябрьская ГХЗ (I) приурочена к протяженной палеодолине субмеридионального простирания. Единственный известный рудный объект палеодолинного типа — Балковское проявление урана, описанное выше, расположено в *Балковской АГХП* (5).

По сравнению с геохимическими ассоциациями эталонных объектов, АГХП Октябрьской ГХЗ характеризуются слабым накоплением урана и большинства его спутников, что при малых размерах предопределяет их низкую перспективность.

Некоторым исключением является *Шебалинская АГХП* (3), приуроченная к палеодолине в пределах развития отложений караган-конского комплекса. Ее почвы характеризуются высоким накоплением и вариацией содержаний только Mo<sup>131</sup><sub>7,9r</sub> и Th<sup>88</sup><sub>3,5r</sub>, а также умеренными значениями этих показателей — U, Bi, Zr. Несмотря на умеренные геохимические характеристики АГХП и ее локальность, благоприятная геологическая позиция и слабая геохимическая изученность (6 проб) не позволяют полностью исключить возможность обнаружения в АГХП промышленного уранового оруденения палеодолинного типа. Таким образом, перспективы Шебалинской АГХП неясны.

Яшалтинская ГХЗ (IV) расположена на северном склоне Ставропольского поднятия. На ее территории картируется Бурукшунский каньон, представленный на рисунке осевой частью палеорула.

Благоприятной предпосылкой для положительного прогноза уранового палеодолинного оруденения в Подлесной, Джалгинской и Кугультинской

АГХП является приуроченность их северных флангов к Бурукшунскому палеоканьону.

К перспективным отнесена *Кугультинская АГХП* (19). Перечень элементов-индикаторов в ее геохимических ассоциациях относительно небольшой, но их, как правило, характеризуют умеренное накопление и высокая неоднородность распределения содержания (таблица).

Перспективы *Подлесной* (16) и *Джалгинской* (17) АГХП неясны, поскольку высокая степень дифференциации содержания ряда элементов-индикаторов уранового оруденения даже при умеренном и низком накоплении не позволяет полностью исключить возможность обнаружения промышленного оруденения.

Ачинеро-Нефтекумская ГХЗ (VIII) расположена на продолжении долины р. Маныч, которая на территории геохимической зоны распадается на ряд рукавов, перекрытых современными отложениями, к которым и приурочены выделенные АГХП.

*Светловская* (28) и *Кызылкольская* (31) АГХП с наиболее высокими геохимическими характеристиками отнесены к перспективным на выявление промышленных месторождений урана палеодолинного типа (таблица). Перспективность *Нефтекумской* (29) и *Кумской* (30) АГХП оценивается как неясная из-за более низких геохимических характеристик.

Оруденение урановой терригенной сероцветной зон пластового окисления рудной формации прогнозируется в Буденовской ГХЗ (VII), на территории которой картируется выклинивание протяженных зон пластового окисления в отложениях сарматского и апшерон-акчагыльского формационных комплексов.

По геохимическим данным перспективными на урановое оруденение являются *Георгиевская* (26), *Буденовская* (24) и *Восточно-Буденовская* (25) АГХП. При этом Георгиевская АГХП характеризуется максимальным для геохимической зоны накоплением урана и его спутников (таблица).

Перспективность *Саблинской* (23) и *Терско-Кумской* (27) АГХП низкая, так как они характеризуются не только низкими накоплением и дифференциацией содержания урана и его спутников в почвах, но и расположены в зонах окисления, откуда уран выносятся.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Региональные геохимические работы позволили выявить аномальные геохимические площади, специализированные на урановое оруденение разных формационных типов; определить общие закономерности их распределения; оценить масштабы проявления процессов рудообразования и выделить перспективные на урановое оруденение объекты.

Прогнозируется обнаружение промышленно значимых месторождений урана двух известных на территории формационных типов: 1) в Пролетарской и Большеянкульской аномальных геохимических площадях, перспективных на уран-фосфорно-редкоземельную в костных остатках терригенную рудную

формацию; 2) в Северо-Минводской аномальной геохимической площади — на урановую гидротермально-метасоматическую рудную формацию.

Гидрогенное урановое оруденение палеодолинного типа прогнозируется в Кугультинской, Светловской и Кызылкольской аномальных геохимических площадях, а зон пластового окисления — в Буденовской, Восточно-Буденовской и Георгиевской аномальных геохимических площадях.

В отмеченных перспективных АГХП рекомендуется провести комплексные геолого-геохимические исследования масштаба 1 : 200 000 для выявления и оконтуривания потенциально рудоносных площадей ранга рудного узла, поля с оценкой их прогнозных ресурсов.

Перспективы органогенного уранового оруденения урановой лагунно-аллювиальной рудной формации в Каспийской геохимической зоне (IX) низкие. Однако их выявление может иметь научный и практический интерес для эколого-геохимических исследований.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Основные направления освоения и развития МСБ урана России / Г. А. Машковцев [и др.] // Разведка и охрана недр. 2008. № 9. С. 93–100.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Скифская. Лист L-38 — Пятигорск. Объяснительная записка / В. А. Лаврищев [и др.]. СПб. : Картограф. ф-ка ВСЕГЕИ, 2011. 420 с.
3. Греков И. И., Пруцкий Н. И. Проблемы тектоники и металлогении Северного Кавказа // Геология и минерально-сырьевая база Северного Кавказа : материалы IX междунар. науч.-практ. геол. конф. Ессентуки, 2000. С. 208–226.
4. Проблемы выявления, интерпретации и оценки рудогенных геохимических аномалий в сложных ландшафтно-геологических условиях / А. А. Головин [и др.] // Разведка и охрана недр. 2013. № 8. С. 6–12.
5. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М. : Недра, 1983. 191 с.
6. Криночкина О. К., Лаврусевич А. А. Проявления техногенных и рудогенных аномальных геохимических полей и критерии их дифференциации // Разведка и охрана недр. 2017. № 1. С. 16–19.
7. Овчинников Л. Н., Рыфтин В. М., Головин А. А. Первичные геохимические ореолы колчеданных месторождений и их поисковое значение. М. : Недра, 1986. 251 с.
8. Геолого-геохимические модели аномальных полей — основа прогнозной оценки территорий МГХК / Л. А. Криночкин [и др.] // Разведка и охрана недр. 2002. № 8. С. 9–13.
9. Методические рекомендации к составлению легенд к полиэлементным геохимическим картам / Г. М. Беляев [и др.]. Л. : ВСЕГЕИ, 1985. 140 с.
10. Криночкин Л. А., Криночкина О. К., Блоков В. И. Новые перспективы уранового оруденения Зауралья по данным региональных геохимических исследований // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 1. С. 8–16. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-8-16>.
11. Krinochkin L. A., Krinochkina O. K. Possibility for uranium mineralization of the Trans Urals according to regional geochemical data // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 459. 022041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/2/022041>.

## REFERENCES

1. Main trends of the reclamation and the development of mineral resource basis of uranium of Russia / G. A. Mashkovtsev [et al.]. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2008; (9): 93–100. (In Russ.).

2. State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 1,000,000 (third generation). Scythian Series. Sheet L-38 — Pyatigorsk. Explanatory note / V. A. Lavrishchev [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory; 2011. 420 p. (In Russ.).

3. Grekov I. I., Prutsky N. I. Problems of tectonics and metallogeny of the North Caucasus. *Geology and Mineral Resource Base of the North Caucasus*: Proc. of the IX Intern. Sci. Geol. Conf. Essentuki; 2000. P. 208–226. (In Russ.).

4. The problems of identification, interpretation and evaluation of ore-producing geochemical anomalies in the areas of adverse landscape-geochemical conditions / A. A. Golovin [et al.]. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2013; (8): 6–12. (In Russ.).

5. Instructions for geochemical methods of prospecting for ore deposits. Moscow: Nedra; 1983. 191 p. (In Russ.).

6. Krinochkina O. K., Lavrusevich A. A. Development of technogenic and natural abnormal geochemical fields

and its hallmarks. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2017; (1): 16–19. (In Russ.).

7. Ovchinnikov L. N., Ryftin V. M., Golovin A. A. Primary geochemical halos of pyrite deposits and their exploration value. Moscow: Nedra; 1986. 251 p. (In Russ.).

8. Geological and geochemical models of anomalous fields are the basis for predictive assessment of multi-purpose geochemical mapping territories / L. A. Krinochkin [et al.]. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2002; (8): 9–13. (In Russ.).

9. Methodical recommendations for compiling legends for polyelement geochemical maps / G. M. Belyaev [et al.]. Leningrad: VSEGEI; 1985. 140 p. (In Russ.).

10. Krinochkin L. A., Krinochkina O. K., Blokov V. I. New prospects of uranium mineralisation in the Trans-Urals based on regional geochemical survey data. *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration*. 2022; (1): 8–16. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-8-16>. (In Russ.).

11. Krinochkin L. A., Krinochkina O. K. Possibility for uranium mineralization of the Trans Urals according to regional geochemical data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 459: 022041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/2/022041>.

---

### Лев Алексеевич Криночкин

Доктор геолого-минералогических наук, начальник Управления геохимического обеспечения Госгеолкарты

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-9338-3191>  
Scopus Author ID 57209792735  
SPIN-код РИНЦ 4148-3390  
lkrinochkin@mail.ru

### Ольга Константиновна Криночкина

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры инженерных изысканий и геоэкологии

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-4833-1944>  
Scopus Author ID 57192381586  
SPIN-код РИНЦ 1404-5254  
vdovinaok@mail.ru

### Виктор Алексеевич Килипко

Кандидат геолого-минералогических наук, первый заместитель Генерального директора

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия

Scopus Author ID 56358669500  
kilipko@rambler.ru

### Вячеслав Игоревич Блоков

Заместитель начальника Управления геохимического обеспечения Госгеолкарты

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-5623-9350>  
SPIN-код РИНЦ 2297-4921  
blok\_off@mail.ru

### Lev A. Krinochkin

DSc (Geology and Mineralogy), Head, Department of Geochemical Support of the State Geological Map

Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-9338-3191>  
Scopus Author ID 57209792735  
RSCI SPIN-code 4148-3390  
lkrinochkin@mail.ru

### Olga K. Krinochkina

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Engineering Surveys and Geoecology

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4833-1944>  
Scopus Author ID 57192381586  
RSCI SPIN-code 1404-5254  
vdovinaok@mail.ru

### Viktor A. Kilipko

PhD (Geology and Mineralogy), First Deputy Director General

Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia

Scopus Author ID 56358669500  
kilipko@rambler.ru

### Vyacheslav I. Blokov

Deputy Head, Department of Geochemical Support of the State Geological Map

Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-5623-9350>  
RSCI SPIN-code 2297-4921  
blok\_off@mail.ru

**Вклад авторов:** *Криночкин Л. А.* — научное руководство, концепция исследования, создание модели исследования, развитие методологии, написание исходного текста, итоговые выводы.

*Криночкина О. К.* — анализ и обобщение данных литературы,

сбор данных литературы, написание исходного текста, итоговые выводы.

*Килипко В. А.* — научное руководство, организация работ по проекту, итоговые выводы.

*Блоков В. И.* — сбор и интерпретация первичных материалов, подготовка дополнительных материалов, работа с графическим материалом, редактирование и оформление текста, итоговые выводы.

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

**Contribution of the authors:** *Krinochkin L. A.* — scientific guidance, research concept, creating a research model, development of methodology, writing the original text, and final conclusions.

*Krinochkina O. K.* — analysis and synthesis of literature data,

collecting literature data, writing the original text, final conclusions.

*Kilipko V. A.* — scientific guidance, organization of project work, final conclusions.

*Blokov V. I.* — collection and interpretation of primary materials, preparation of supplementary data, work with graphics, text editing and text design, final conclusions.

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

Статья поступила в редакцию 20.05.2025  
Одобрена после рецензирования 02.06.2025  
Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 20.05.2025  
Approved after reviewing 02.06.2025  
Accepted for publication 20.06.2025

Original article

UDC 550.84.092:553.411(575.1)

doi:10.52349/0869-7892\_2025\_102\_117-138

**Keywords:** *association of pathfinder elements, gold ore mineralization, geochemical data processing, factor analysis, anomalous geochemical zones, mean deviation, standard deviation*

**For citation:** Oganiyozov B. B., Pirnazarov M. M. Geochemical halos of gold mineralization in the Geokhimicheskoe ore occurrence, Kuldzhuktau region (Uzbekistan). *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (2): 117–138. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_117-138](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_117-138)

Научная статья

УДК 550.84.092:553.411(575.1)

doi:10.52349/0869-7892\_2025\_102\_117-138

**Ключевые слова:** *ассоциация элементов-спутников, золоторудная минерализация, обработка геохимических данных, факторный анализ, выделение аномальных геохимических зон, среднее отклонение, стандартное отклонение*

**Для цитирования:** Оганиёзов Б. Б., Пирназаров М. М. Геохимические ореолы золотоносной минерализации участка Геохимическое гор Кульджуктау (Узбекистан) // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 117–138. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_117-138](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_117-138)



© B. B. Oganiyozov,  
M. M. Pirnazarov, 2025

## Geochemical halos of gold mineralization in the Geokhimicheskoe ore occurrence, Kuldzhuktau region (Uzbekistan)

B. B. Oganiyozov✉, M. M. Pirnazarov

University of Geological Sciences, Tashkent, Uzbekistan,  
behruzoga@gmail.com✉

**Abstract.** The Geokhimicheskoe ore occurrence is located 1–1.5 km west of the Tau-shan deposit, within the southeastern exocontact zone of the Aktosty intrusive massif. The study aims to comprehensively analyze geochemical halos associated with gold mineralization in the Kuldzhuktau region (Uzbekistan) in order to identify their spatial and compositional characteristics, establish indicator elements reflecting mineralization processes, and substantiate promising directions for precious metal prospecting. Factor analysis was applied to process multi-element geochemical data from 620 samples. The results demonstrate that average gold concentrations exceed background levels by up to 1,200 times; Au, As, Ag, and W are identified as key pathfinder elements. Additional ore-localizing features include “through-going” anomalies of As, W, Sb, Mo, and Ag. The constructed additive Au + As anomaly model proved to be most effective in delineating promising flanking and deep-seated zones. The established geochemical zoning, which reflects sequential formation of mineral assemblages, is confirmed as a critical criterion for predicting mineralization. The generated geochemical anomaly maps effectively highlight areas with high gold potential, providing guidance for further gold prospecting efforts.

## Геохимические ореолы золотоносной минерализации участка Геохимическое гор Кульджуктау (Узбекистан)

Б. Б. Оганиёзов✉, М. М. Пирназаров

Университет геологических наук Республики Узбекистан,  
Ташкент, Узбекистан, behruzoga@gmail.com✉

**Аннотация.** Рудопоявление Геохимическое расположено в 1,0–1,5 км к западу от месторождения Таушан в юго-восточной части экзоконтакта Актостинского интрузивного массива. Цель исследования — комплексное изучение геохимических ореолов, ассоциированных с золотоносной минерализацией на участке гор Кульджуктау (Узбекистан), для выявления их пространственно-вещественных особенностей, установления индикаторных элементов, отражающих минерализационные процессы, и обоснования перспективных направлений поисков благородных металлов. Для обработки многоэлементных данных 620 проб был применен факторный анализ. Установлено, что среднее содержание золота превышает фоновые значения до 1200 раз; элементами-индикаторами являются Au, As, Ag и W. Дополнительными рудолокализирующими признаками служат сквозные аномалии As, W, Sb, Mo и Ag. Созданная модель аномалии Au + As оказалась наиболее информативной для выделения перспективных фланговых и глубоких зон. Подтверждено, что геохимическая зональность, отражающая последовательность минерализационных процессов, является ключевым критерием прогнозирования оруденения. Построенные карты геохимических аномалий позволили локализовать зоны с высоким потенциалом, пригодные для дальнейших поисков золота.

## INTRODUCTION

Geochemical methods are among the leading tools to explore various types of ore deposits [1]. Many deposits have been discovered when processing geochemical data and identifying anomalies [2]. Geochemical survey data include numerous elements. The complexity and diversity of geological processes lead to various elemental associations. Some of these associations are closely related to specific types of mineralization, which can be used to delineate promising ore-bearing positions [3]. Factor analysis is one of the most popular multivariate analysis methods employed to reduce data sets dimensionality. This tool combines several correlated variables into one factor in order to summarize multidimensional information [4]. In this regard, it recognizes geochemical associations related to specific types of mineralization.

Geochemical prospecting methods are used at the initial exploration stage to distinguish real anomalies from background values. Two different types of mathematical models have been developed to determine the threshold that effectively separates geochemical anomalies from background: (1) frequency-based and (2) spatial frequency-based. The first type relies on the frequency distribution of geochemical survey data. These include probability plots [5] and multivariate data analysis methods [6], which are often employed to analyze geochemical data [1; 7–9]. The second model type considers not only frequency but also spatial distribution of the data. The concept of fractals was introduced as an effective tool to identify various geochemical associations [10]. Geochemical survey data generally do not follow a normal distribution but show a tendency towards a lognormal distribution. Meanwhile, the distribution of trace elements and their enrichment exhibit multifractal characteristics. Fractal models include a concentration-area model, spectrum-area model, concentration-distance model, local singularity index, and concentration-volume model [11]. These approaches take into account both the frequency distributions of geochemical data and their spatial self-similar characteristics.

The Geokhimicheskoe ore occurrence is a key study object in the Kuldzhuktau mountain region, which has been investigated for over half a century. This research requires deep theoretical support to improve the search for hidden ore bodies in the mining zone periphery in order to expand deposit scales. Many studies in this area focus on the geology of gold-bearing occurrences, ore-controlling structures, sources of ore-forming materials, and processes of gold ore formation<sup>1</sup>. Some studies suggest that the origin of these ore occurrences is associated with magmatic-hydrothermal processes and closely linked to magmatism<sup>2</sup>. Nevertheless, methods for recognizing geological processes related to gold-forming mineralization and identifying geochemical anomalies remain critical tasks.

In the present study, factor analysis was used to process data on the concentrations of 22 chemical elements. The main objectives of the study were as follows:

- to identify elemental associations to be effective for gold ore prospecting;

- to study the genesis of mineralization by chemical element distribution zones;

- to delineate geochemical anomalies based on the factor analysis results in order to define target zones of ore formation in the study area periphery.

The Kuldzhuktau Mountains, as the modern tectonic structure suggests, represent an Alpine uplift of sublatitudinal extension. The core consists of the Paleozoic folded basement rocks, while the flanks are made up of the Mesozoic–Cenozoic platform cover deposits. The folded basement includes highly dislocated sedimentary and volcano-sedimentary rock complexes from the Middle Ordovician to the Middle–Upper Carboniferous, intruded by magmatic complexes of gabbro-diorite ( $\lambda\delta P_1$ ) and granodiorite-granite ( $\gamma\delta P_1$ ) composition<sup>3</sup>.

Terrigenous formations are the most widespread, constituting over two-thirds of the Paleozoic outcrop area. The oldest among them, lying at the base of the Paleozoic sequence, belong to the volcanogenic-terrigenous formation corresponding to the Kazakasu Formation ( $O_{2-3}kz$ )<sup>4</sup>, which has limited distribution. Rocks of this formation are predominantly located in the northern and eastern parts of the region, appearing as narrow bands of sublatitudinal orientation. They mainly comprise interbedded shales and sandstones with interlayers of siltstones, gravelites, conglomerates, siliceous rocks, and andesite-basalt volcanics [12].

Stratigraphic sequences, distribution, geological formations, folding age, and magmatism characteristics represent the Paleozoic formations of the Kuldzhuktau Mountains to the Zarafshan-Alai structural and formational zone situated in the southern part of the South Tien Shan folded system.

According to deep seismic sounding data, the modern Earth's crust thickness in the Kuldzhuktau area is approximately 40 km, with the granite-gneiss layer (18 km) being thinner than the basalt layer (22 km).

Due to intense compression, the geological formations are heavily deformed. The primary folded structure of the Paleozoic basement is the complexly built Kuldzhuktau synclinorium, stretching sublatitudinally for tens of kilometers. It is most clearly expressed in the eastern half of the mountains, where its core includes the Middle–Upper Carboniferous terrigenous and molasse deposits of the Taushan and Kamystin formations. These are the main host rocks for gold mineralization in the area. The synclinorium flanks are made up of the Lower Paleozoic terrigenous and carbonate rocks. Both the core and flanks are further complicated by numerous higher-order folds and fault zones [13].

<sup>1</sup>Report on preliminary specialized prospecting for gold and other mineral resources within the Taushan Formation in the Central and Southeastern Kuldzhuktau Mountains, 2017–2020 / A. A. Kushiev [et al.]. Vol. IV. (In Russ.).

<sup>2</sup>Ibid.

<sup>3</sup>Ibid.

<sup>4</sup>Report on the geological structure and mineral resources of the K-41-115-A (southern), K-41-115-B (central and southern), and K-41-128-B (northern) sheet areas (report of the Kuldzhuktau geological survey party about the geological mapping results, scale of 1 : 50,000, 1967–1968 / Ya. B. Aysanov [et al.]. Vol. 1. Ore deposits of Uzbekistan: Monograph. Tashkent: IMR; 2001. (In Russ.).

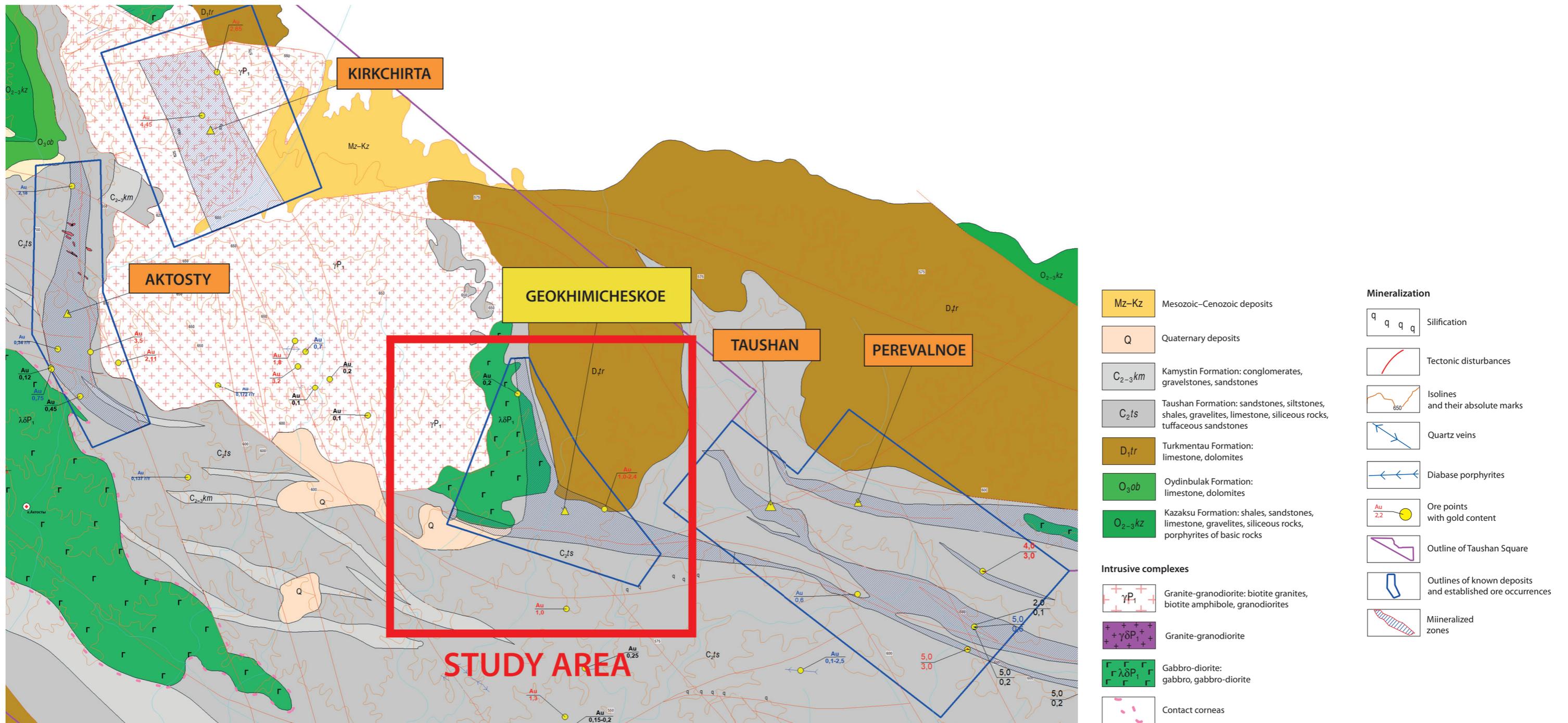


Fig. 1. Geological structure map of the promising Geokhimicheskoe ore occurrence

Source: from A. A. Kushiev [et al.]\*

Рис. 1. Схема геологического строения перспективного рудопоявления Геохимическое

Источник: по А. А. Кушиеву [и др.]\*\*

\*Report on preliminary specialized prospecting for gold and other mineral resources within the Taushan Formation in the Central and Southeastern Kuldzhuktau Mountains, 2017–2020 / A. A. Kushiev [et al.]. Vol. IV. (In Russ.).

\*\*Отчет по теме: «Опережающие специализированные поисковые работы на золото и другие полезные ископаемые в пределах развития таушанской свиты в центральной и юго-восточной части гор Кульджуктау» за 2017–2020 гг. / А. А. Кушиев [и др.]. Кн. IV.

Thrust structures<sup>1</sup> are accompanied by metasomatic alterations and control mineralization in the Aktosty (in the western exocontact of the Aktosty granite massif), South Sultanbibi (in the eastern exocontact of the Shaidaraz massif), and Adylsay occurrences (in the eastern exocontact of the Taushan massif). These fault zones should have a significant impact on the region's metallogeny. Fault zones are likely to play a vital role in the area's metallogeny.

According to the metallogenic zoning of Western Uzbekistan [14], the Kuldzhuktau region belongs to the Zarafshan-Gissar ore belt specializing in W, Sn, As, Mo, Sb, Pb, Zn, etc., and is part of the Zarafshan-Alay metallogenic zone [15]. It was recognized as a gold-tungsten-tin-antimony-mercury belt, later subdivided into several ore clusters and fields [16].

Exploration in the area led to discoveries of various mineral occurrences and prospects, such as:

- small occurrences of nickel, titanium, copper, cobalt in hyperbasites and gabbroids of the Shaidaraz and Taushan intrusives;

- contact-metasomatic formations linked to the Upper Carboniferous gabbro-diorite intrusions within the Beltau intrusive, associated with the large Taskazgan nickel-graphite deposit and several graphite, nickel, and copper occurrences in Shaidaraz and Taushan;

- hydrothermal gold and associated elements (Sb, As, Cu, W) mostly in terrigenous deposits of the Taushan Formation, less commonly in granitoids of the Aktosty and Tozbulak massifs;

- small hydrothermal mercury occurrences in the Middle Paleozoic carbonate sequences (Silurian and Devonian) [12].

Among all the known mineral resources of Kuldzhuktau, only graphite, nickel, and gold are currently of industrial interest. Fifteen antimony-mercury-type ore occurrences<sup>2</sup> have been identified, but they are too small to be cost-effective for now.

Non-metallic resources include:

- quartz deposit (Tozbulak);
- granite deposit;
- several marble deposits;
- occurrences of phosphorus, wollastonite, brucite, Iceland spar, magnesite, zeolites, bentonite clays;
- occurrences of turquoise, opal, and onyx.

Most gold occurrences in Kuldzhuktau are endogenous and belong to the gold-quartz-sulfide formation. These include:

- deposits: Taushan, Yangikazgan;
- occurrences: Tsentralnoe, Kirkchirta, Aktosty, Perevalnoe, Adylsay, Dzhurakuduk, Shaidaraz, Taskazgan, Darvaza, etc.

Most of them are located in the sandy-shale deposits of the Lower Taushan Formation (C<sub>2</sub>t<sub>s</sub>), often

where they contact carbonate-siliceous rocks. Two occurrences — Kirkchirta and Tsentralnoe — are in granitoids, and one — Darvaza — is in sandstones and shales of the Kazakasu Formation.

Kuldzhuktau is among the least-studied mountain areas in the Central Kyzylkum region. Systematic exploration was conducted until the mid-1980s and resumed in 2016. Since then, infrastructure has improved (e.g. construction of the new Kogan railway), and comprehensive exploration has restarted to expand the region's mineral base. Currently, further exploration is underway for deeper levels and flanks of the previously discovered Taushan and Yangikazgan gold deposits. The known occurrences, such as Perevalnoe, Aktosty, Kirkchirta, Adylsay, and Geokhimicheskoe, are being studied in more detail (fig. 1).

The Geokhimicheskoe ore occurrence lies 1–1.5 km west of the Taushan deposit, in the southeastern exocontact of the Aktosty intrusive massif. It is located at the intersection of a submeridional arc-shaped thrust fault and steeply dipping faults of sublatitudinal orientation, which are part of or associated with the Sultanbibi fault zone. The central, southern, and eastern parts of the area are composed of sandstones and siliceous rocks of the Taushan Formation. The Devonian limestone occurs in the north, and gabbro-diorites of the Aktosty massif are found in the west.

The area clearly shows faults in three directions: sublatitudinal northwestern (longitudinal), submeridional (transverse thrust type), and sublatitudinal northeastern (fig. 2).

## MATERIAL AND METHODS

### *Mineralogical and petrographic characteristics of the main rock types in the Geokhimicheskoe ore occurrence*

In the Geokhimicheskoe ore occurrence, metamorphosed sedimentary-terrigenous, intrusive, effusive formations, and their metasomatically altered varieties have been identified. Quartz vein formations are also frequently observed. The intrusive formations are represented by granitoids, while the effusive rocks include diorites and dacites. Below is a description of the main rock types. Fig. 3 demonstrates the samples locations.

1. Metamorphosed sedimentary-terrigenous rocks. These rocks are primarily composed of metamorphosed sandstones, shales, and siltstones, which have undergone varying degrees of regional and contact metamorphism. The mineral composition includes quartz, feldspar, mica (muscovite and biotite), and chlorite. The rocks often exhibit foliation and schistosity, with secondary minerals, such as sericite and epidote, developed. These formations are commonly crosscut by quartz veins and veinlets, which relate to gold mineralization.

2. Intrusive rocks (granitoids). The granitoids in the Geokhimicheskoe ore occurrence are characterized by a medium- to coarse-grained texture. The primary mineral assemblage includes quartz, plagioclase, potassium feldspar, and biotite. Accessory minerals contain zircon, apatite, and opaque minerals of magnetite and

<sup>1</sup>Report on the geological structure and mineral resources of the K-41-115-A (southern), K-41-115-B (central and southern), and K-41-128-B (northern) sheet areas (report of the Kuldzhuktau geological survey party about the geological mapping results, scale of 1 : 50,000, 1967–1968 / Ya. B. Aysanov [et al.]. Vol. 1. Ore deposits of Uzbekistan: Monograph. Tashkent: IMR; 2001. (In Russ.).

<sup>2</sup>Finkelstein Yu. V. Report on revision and evaluation, revision and exploration work in the Kuldzhuktau Mountains in 1968–1969, 1971 / Yu. V. Finkelstein [et al.]. Zarafshan.

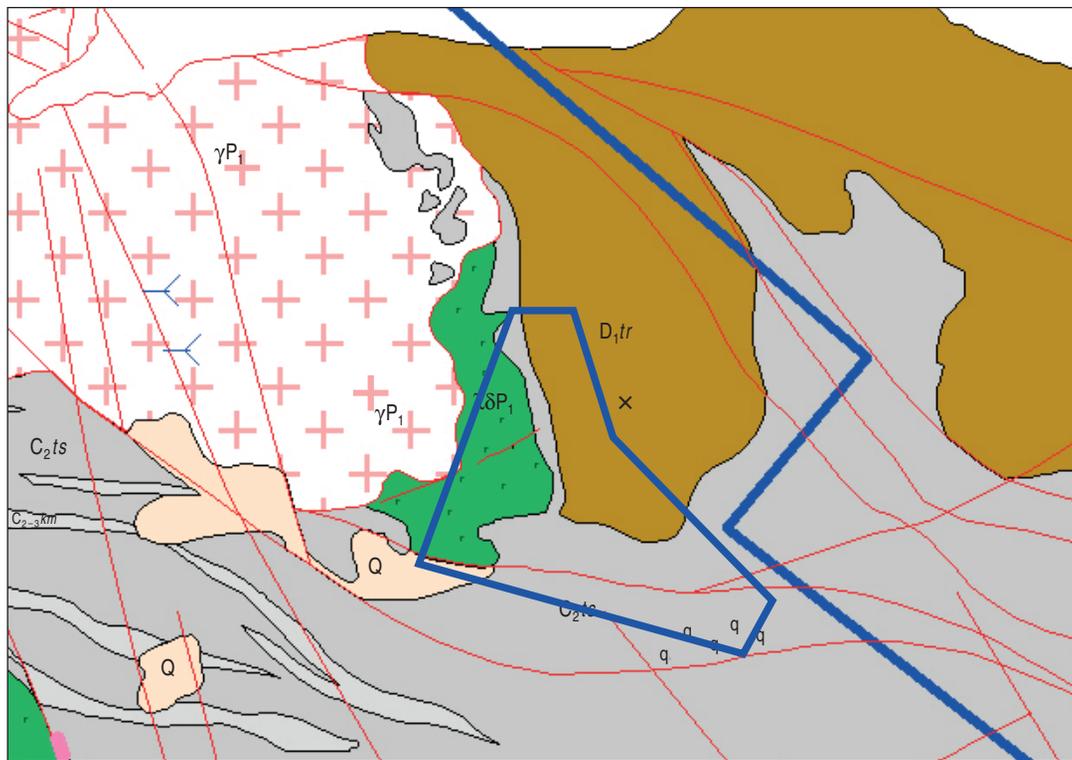
ilmenite. The granitoids often exhibit hydrothermal alteration, with secondary minerals, such as sericite, chlorite, and epidote, developed. These rocks frequently attribute to quartz-sulfide veins, which host gold mineralization.

3. Effusive rocks (diorites and dacites). The effusive rocks are represented by diorites and dacites, which exhibit porphyritic textures. The diorites are mainly composed of plagioclase, amphibole, and pyroxene, while the dacites contain plagioclase, quartz, and biotite. These rocks often demonstrate signs of hydrothermal alteration, with secondary minerals of chlorite, epidote, and sericite developed. The effusive rocks are crosscut by quartz veins and attribute to zones of gold mineralization.

4. Metasomatically altered rocks. Metasomatic alteration is widespread in the Geokhimicheskoe ore occurrence

and is closely associated with gold mineralization. The altered rocks are characterized by the development of sericite, quartz, carbonates, and sulfides. Pyrite, arsenopyrite, and chalcopyrite are the most common sulfide minerals, often occurring as disseminated grains or in veinlets. The alteration zones typically relate to fault and shear zones, which acted as conduits for hydrothermal fluids.

5. Quartz vein formations. Quartz veins are a prominent feature of the Geokhimicheskoe ore occurrence and are the primary host for gold mineralization. The veins range in thickness from a few millimeters to several meters and often attribute to sulfide minerals. The quartz is typically milky to translucent and may contain visible gold in some cases. The veins are often surrounded by alteration halos, characterized by sericitization, silicification, and sulfidation.



**Conventional designations**

	Plot outline		Kamystin Formation: conglomerates
	Tectonic faults		Taushan Formation: sandstones, siltstones

**Fig. 2. Faults in the Geokhimicheskoe ore occurrence**

Source: from A. A. Kushiev\*

**Рис. 2. Разрывные нарушения рудопроявления Геохимическое**

Источник: по А. А. Кушиеву\*\*

\*Report on preliminary specialized prospecting for gold and other mineral resources within the Taushan Formation in the Central and Southeastern Kuldzhuktau Mountains, 2017–2020 / A. A. Kushiev [et al.]. Vol. IV. (In Russ.).

\*\*Отчет по теме: «Опережающие специализированные поисковые работы на золото и другие полезные ископаемые в пределах развития таушанской свиты в центральной и юго-восточной части гор Кульджуктау» за 2017–2020 гг. / А. А. Кушиев [и др.]. Кн. IV.

In summary, a complex assemblage of metamorphosed sedimentary-terrigenous rocks, intrusive granitoids, effusive diorites and dacites, and their metasomatically altered varieties characterizes the Geokhimicheskoe ore occurrence. Quartz vein formations are widespread and play a key role in gold mineralization. The mineralogical and petrographic characteristics of these rocks provide important insights into the processes of ore formation and the structural controls of mineralization. Fig. 3 illustrates the studied samples locations.

The rock is a brown-colored quartz-sericite breccia with a granoblastic to lepidogranoblastic structure and a brecciated texture (figs. 4, 5). It consists of angular fragments of sericite-quartz schist (1–7 mm in size) and quartzite (up to 4.2 mm) cemented by vein-like and nodular carbonate aggregates. The schist fragments are composed of polygonal, elongated quartz grains (up to 0.15 mm long) with evenly distributed sericite flakes (up to 0.12 mm). The cementing matrix contains carbonate grains (transparent calcite and ferruginous carbonate) up to 0.65 mm in size, with many ferruginous carbonate grains showing zonal distribution of fine iron hydroxide particles. The mineral composition is quartz (60–80 %), carbonate (15–40 %), and sericite (0.5–5 %).

*Quartzite with sericite and schistose, with recrystallization veins, weakly limonitized.* The rock has a lepidogranoblastic structure and a poorly defined schistose texture. It is composed of polygonal-isometric and elongated quartz grains, approximately 0.05 mm in size, among which thin, elongated sericite flakes are

almost uniformly distributed and oriented in one direction. In thin sections, “washed-out” areas are observed, consisting of sericite aggregates with thin veins of carbonaceous material.

Recrystallization veins and nests contain polygonal quartz grains, some of which exhibit transverse columnar grains ranging from 0.07 to 0.75 mm in length (fig. 6). The mineral composition of the rock is as follows: quartz 85–90 %, sericite 7–10 %, iron hydroxides 1–2 %, carbonaceous material 1–2 %.

*Pseudomorphs of iron hydroxides.* Pseudomorphs of iron hydroxides are unevenly distributed in the rock. Their form is polygonal, often corresponding to a cubic habit.

*Uneven-grained sandstone.* The rock exhibits a breccia-like texture. The clastic grains contain fine polygonal quartz grains. The cement is of carbonate-sericite composition (fig. 7). Sericite flakes, which present vein-like and streaky accumulations of finely flaked sericite, are oriented in one direction. Aggregates of ferruginous carbonate have a sharply elongated form and are also aligned in the same direction as the sericite veins. Some aggregates consist of irregular calcite grains and polygonal zonal grains of ferruginous carbonate. Iron hydroxides develop along the ferruginous carbonate, often forming small nodular segregations up to 0.1–0.2 mm in size.

In porphyritic varieties of dacites, the porphyritic segregations are represented by irregular polygonal quartz grains up to 1.5 mm in size. The mineral composition of the rock is as follows: quartz 55–60 %,

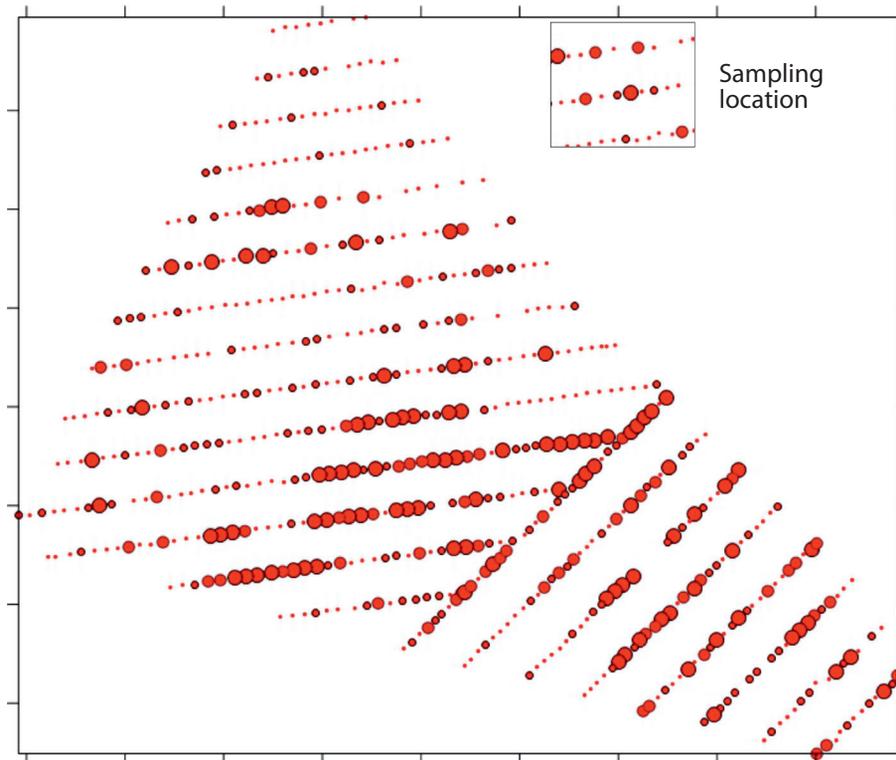


Fig. 3. Sampling locations from the Geokhimicheskoe ore occurrence

Рис. 3. Места отбора изученных проб из рудопоявления Геохимическое

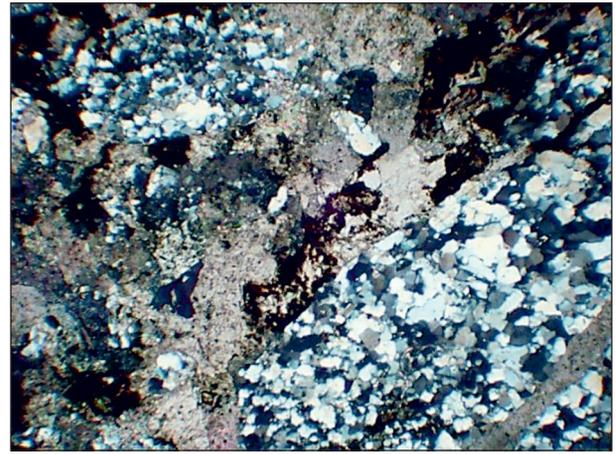
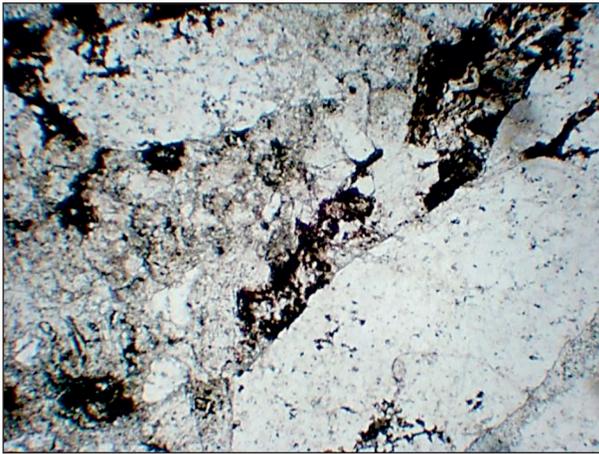


Fig 4. Breccia of sericite-quartz schist. Thin section Sb-8. Magnification 32x; nicoli + and li

Рис. 4. Брекчия серицит-кварцевого сланца. Шлиф Sb-8. Увелич. 32x; николи + и li

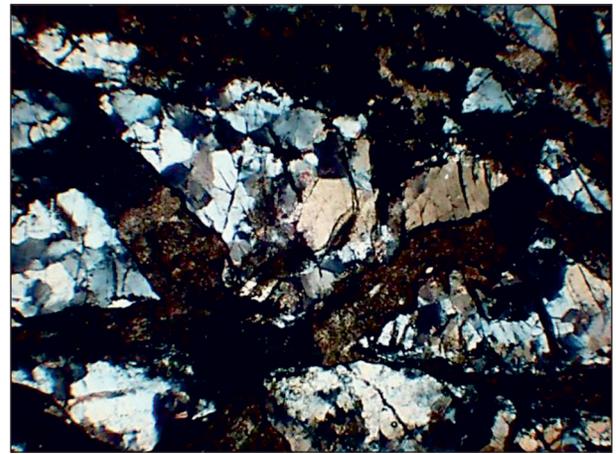
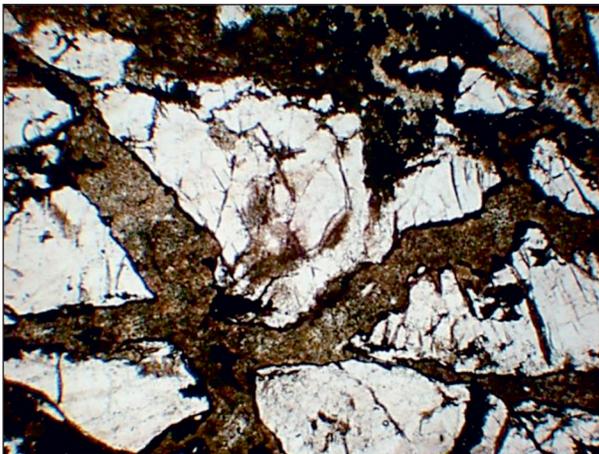


Fig. 5. Quartzite breccia cemented by fibrous iron carbonate precipitates. Thin section Sb-9. Magnification 32x; nicoli + and li

Рис. 5. Брекчия кварцита, сцементированная жилковатыми выделениями железистого карбоната. Шлиф Sb-9. Увелич. 32x; николи + и li

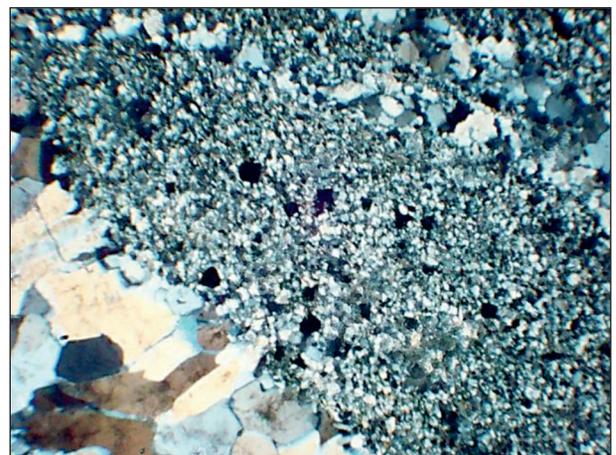
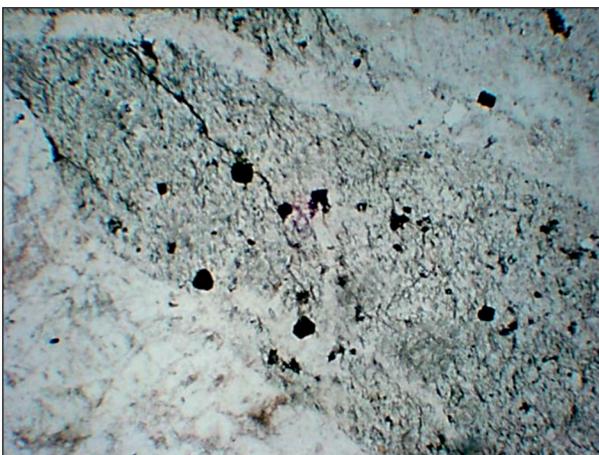


Fig. 6. Veins and nests of recrystallized quartz in quartzite. Thin section Sb-1. Magnification 32x; nicoli + and li

Рис. 6. Пржилки и гнезда перекристаллизованного кварца в кварците. Шлиф Sb-1. Увелич. 32x; николи + и li

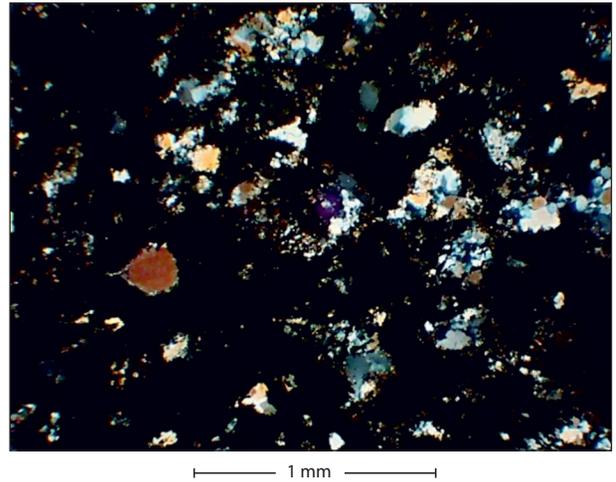
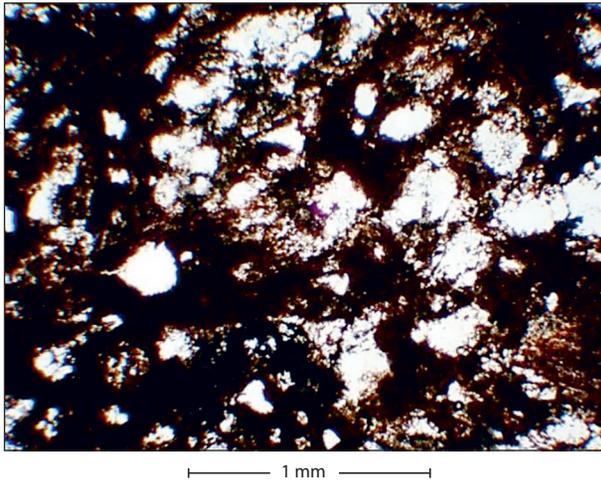


Fig. 7. Sandstone of sericite-quartz-carbonate composition. Thin section Sb-4. Magnification 32x; nicoli + and II  
 Рис. 7. Песчаник серицит-кварц-карбонатного состава. Шлиф Sb-4. Увелич. 32x; николи + и II

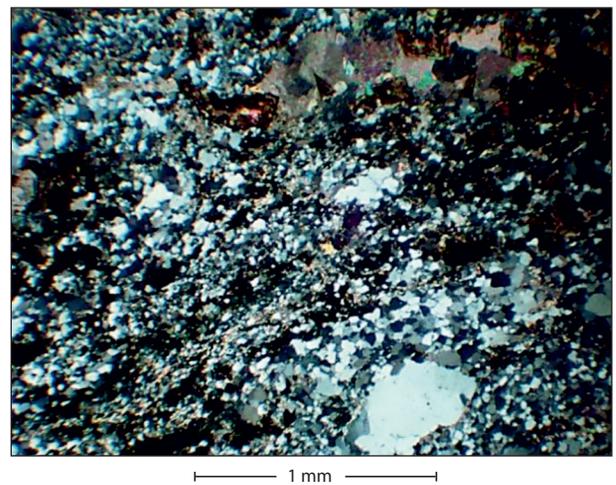
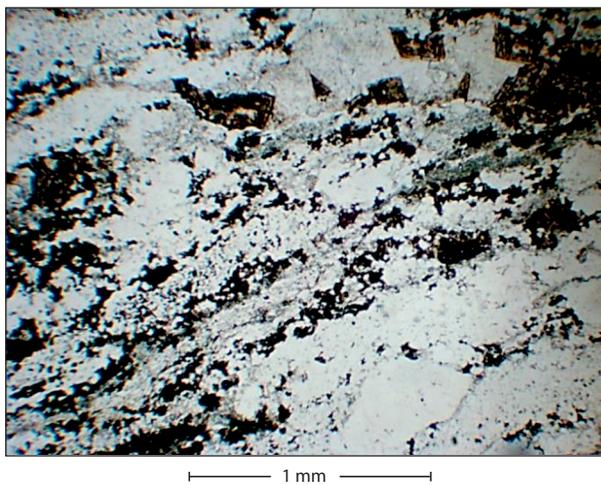


Fig. 8. Carbonate-sericite-quartz schist. Thin section Sb-5. Magnification 32x; nicoli + and II  
 Рис. 8. Сланец карбонат-серицит-кварцевый. Шлиф Sb-5. Увелич. 32x; николи + и II

ferruginous carbonate 35–40 %, iron hydroxides 3–5 %, sericite 1–2 %, apatite 0.1 %. The rock is strongly carbonatized and iron-enriched, primarily in the form of ferruginous carbonate.

*Carbonate-sericite-quartz schists* (Sb-5, fig. 8), *sericite-quartz schists* (Sb-15), and *carbonate-quartz schists* (Sb-2, fig. 9). The rocks exhibit a lepidogranoblastic structure and schistose texture. The main mass of the rock is composed of fine polygonal quartz grains with unevenly distributed sericite flakes. Among these, vein-like and streaky accumulations of finely flaked sericite, oriented in one direction, are frequently observed. Aggregates of ferruginous carbonate have a sharply elongated form and are also aligned in the same direction as the sericite veins. Some aggregates consist of irregular calcite grains and polygonal zonal grains of ferruginous carbonate. The size of quartz grains ranges from 0.01 to 0.15 mm, while carbonate grains reach up to 0.2 mm.

The mineral composition of the schist is as follows: quartz 80–85 %, ferruginous carbonate 7–10 %, sericite

5–7 %, calcite 0.7–1 %. In the carbonate-quartz schists (Sb-2), banded distributions of microgranular carbonate aggregates and carbonaceous material are observed within the quartz mass, along with occasional sericite aggregates (fig. 9). The volumetric mineral composition of the rock is as follows: quartz 80–85 %, carbonate 10–15 %, carbonaceous material 2–3 %, sericite 0.5–1 %. The rock demonstrates signs of iron enrichment. Many carbonate aggregates are saturated with finely dispersed particles of iron hydroxides, which sometimes exhibit zonal distribution.

*Medium-grained diorite, cataclastic, intensely margaritized, quartzified, chloritized, and muscovitized.* The rock has a breccia-like texture (fig. 10). The rock is a diorite in which plagioclase has undergone intense margaritization (based on optical characteristics — higher refractive index and lower birefringence than sericite). In some grains of margaritized plagioclase, distinct twinning is preserved. The rock is cataclastic, and the newly formed quartz aggregates were likely to fill the

resulting voids. Grains of biotite are present in the rock, often completely replaced by chlorite and muscovite, with leucoxene formed along cleavage cracks and grain boundaries. The size of the former biotite grains reaches up to 0.3 mm.

Ilmenite forms sinuous, vein-like accumulations of micrograins and larger nodular grains up to 0.25 mm in size. The mineral composition of the rock is as follows: margarite 60–65 %, quartz 15–20 %, plagioclase 3–5 %, chlorite 3–5 %, muscovite 2–3 %, carbonate 1–2 %, ilmenite 0.5–1 %, biotite 0.5–0.7 %.

*Quartz vein with sericite and carbonaceous material.* The rock exhibits a lepidogranoblastic structure and massive texture (fig. 11). The rock consists of irregular polygonal quartz grains up to 0.3 mm in size and a small number of flakes of nearly isotropic chlorite. The quartz grains often have sharply angular shapes, with the largest grains frequently displaying sinuous boundaries.

Within the quartz mass, small sinuous vein-like accumulations of finely flaked carbonaceous material are observed, creating a schistose and layered texture in the rock. Occasionally, thin veins of iron hydroxides, approximately 0.025 mm in thickness, are present in the rock, along with pseudomorphs of iron hydroxides after pyrite, reaching up to 0.15 mm in size. The mineral composition of the rock is as follows: quartz 88–90 %, chlorite 3–4 %, carbonaceous material 2–3 %, iron hydroxides 2–3 %.

The studied rocks have undergone metasomatic alterations of varying degrees. The most widely observed alterations in the studied rocks include sericitization, silicification (quartzification), iron enrichment (ferruginization), and carbonatization. Ore mineralization is accompanied by intense carbonatization and silicification of the rocks. In some rocks, ferruginous carbonates are closely associated with iron hydroxides.

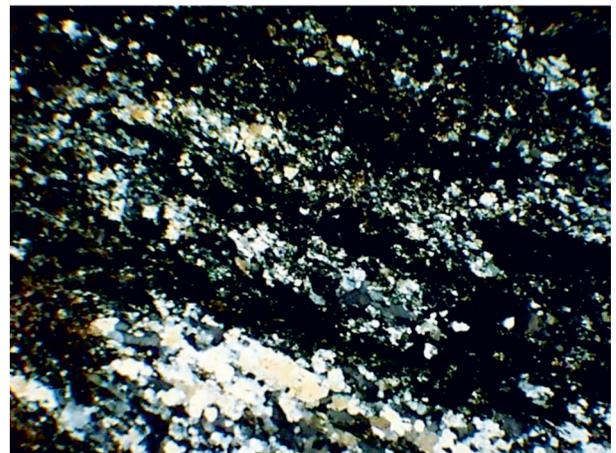
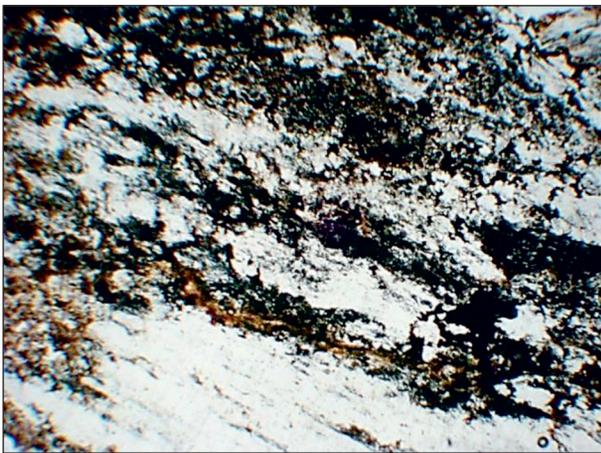


Fig. 9. Carbonate-quartz schist. Thin section Sb-2. Magnification 32x; nicoli + and II

Рис. 9. Карбонат-кварцевый сланец. Шлиф Sb-2. Увелич. 32x; николи + и II

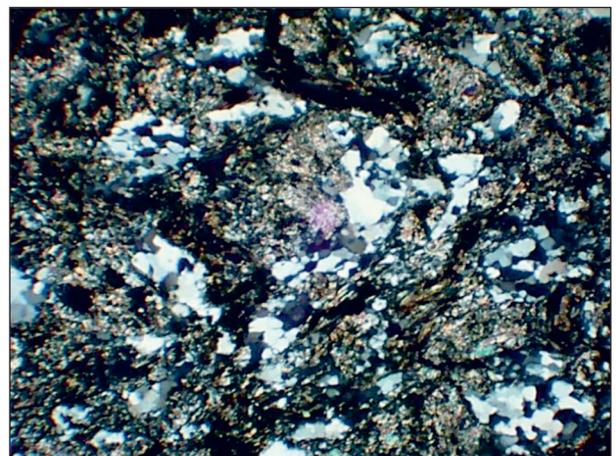
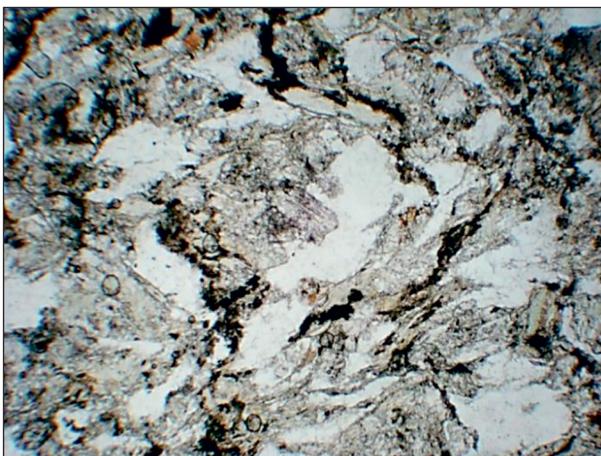


Fig. 10. Microscopic view of diorite in transmitted light. Thin section Sb-12. Magnification 32x; nicoli + and II

Рис. 10. Микроскопический вид диорита в проходящем свете. Шлиф Sb-12. Увелич. 32x; николи + и II

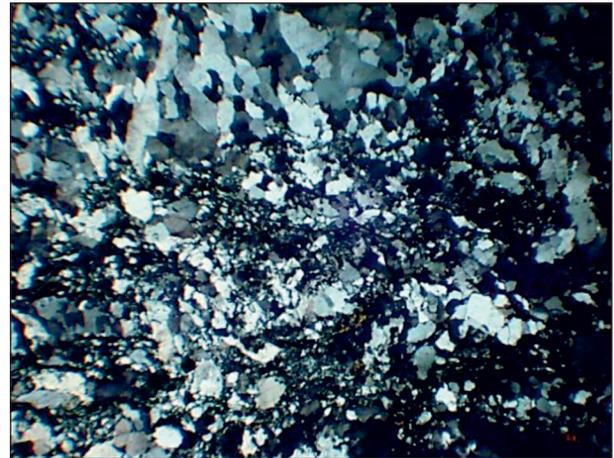


Fig. 11. Quartz vein. Thin section Sb-18. Magnification 32x; nicoli + and II

Рис. 11. Кварцевая жила. Шлиф Sb-18. Увелич. 32x; николи + и II

Since all the studied samples were collected from the surface (oxidation zone), the ore minerals are primarily represented by hydroxides, sulfates, and carbonates of iron. Ore minerals are mainly observed as individual disseminations, less frequently as thin veinlets, and as ochreous accumulations along rock fractures.

#### Data and sample collection

The study is based on a comprehensive geochemical dataset obtained from 620 samples systematically collected across the Geokhimicheskoe ore occurrence, covering an area of approximately 1.3 km<sup>2</sup>. Sampling was conducted along geochemical traverses oriented perpendicular to three principal ore-controlling structures, and differential GPS equipment, which provides positional accuracy within 3 meters, precisely recorded the samples locations. The collected samples demonstrate the full lithological diversity of the area, including siltstones, shales, sandstones, diorites, granodiorites, limestone, and quartz veins. The channel sampling method, with each 400–600-gram composite sample representing a single lithological unit, contributed to uniform sampling. Prior to analysis, the samples underwent rigorous preparation including drying, crushing, washing, homogenization, and splitting in the certified laboratory of JSC “Uzbekgeologorazvedka” under the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan. Each sample was analyzed for a suite of 22 elements comprising Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, As, Sb, Bi, Mo, W, Sn, Li, Be, Ga, Ge, Cd, Cr, V, Mn, and P, which provided complete geochemical characteristics of the ore occurrence. The analytical results form a robust dataset for understanding the mineralization patterns and exploration potential of the area.

#### Factor analysis

Factor analysis represents a robust statistical approach widely employed in geochemical data inter-

pretation. C. Reimann, P. Filzmoser, and R. G. Garrett [12] established its foundational principles. This dimensionality reduction technique effectively transforms complex multivariate datasets into a more manageable set of latent factors that capture essential patterns within the original variables [17; 18]. The methodology's strength lies in its ability to elucidate underlying geological processes rather than merely describing surface-level correlations<sup>1</sup>. The mathematical framework of factor analysis follows a well-defined model where observed variables ( $y$ ) are expressed as linear combinations of latent factors ( $f$ ) through a loading matrix ( $\Lambda$ ), with an additional error term ( $e$ ) accounting for unique variances, as demonstrated in the fundamental equations  $y = \Lambda f + e$  and  $\text{Cov}(y) = \Lambda \Lambda^T + \Psi$  [9]. The diagonal matrix  $\Psi$  specifically contains these unique variances that cannot be explained by common factors [4]. In practical geological applications, this technique has proven invaluable for investigating ore formation mechanisms, characterizing mineralization processes and developing predictive models for concealed mineral deposits [12]. The analytical workflow typically involves visual interpretation of scree plots to determine optimal factor retention, examination of factor loading patterns to understand variable groupings, and spatial analysis through factor score mapping<sup>2</sup> [19; 20]. Prior to analysis, rigorous data preparation steps are essential, including appropriate data transformations (commonly logarithmic) and normality assessments complemented by diagnostic tests, such as the Kaiser-Meyer-Olkin measure for sampling adequacy and Bartlett's test of sphericity, to verify how suitable the correlation structure for factor analysis is [21]. Modern computational implementations, including specialized software packages such as STATISTICA

<sup>1</sup>Borodachev S. M. Multidimensional statistical methods: Manual. Ekaterinburg: USTU — UPI; 2009. 81 p. (In Russ.).

<sup>2</sup>Factor analysis in geology: Manual for lab. classes / A. I. Bakhtin [et al.]. Kazan: Kazan State Univ.; 2007. 32 p.

(Version 10, StatSoft Inc.), facilitate efficient execution of these analytical procedures while ensuring methodological rigor in geochemical investigations. The comprehensive references supporting this discussion span foundational works through contemporary applications [12], collectively demonstrating the enduring relevance and evolving methodology of factor analysis in geochemical research.

**RESULTS AND DISCUSSION**

*Statistical analysis*

This study incorporated a comprehensive descriptive statistical analysis of chemical element concentrations, with key statistical parameters (mean values (MEAN) and standard deviations (STD DEV)) and average background levels for the Geokhimicheskoe ore occurrence presented in Table 1. The variation coefficient (CV) was employed to illustrate data dispersion patterns. The Clarke concentration value for gold reached 1266.67 ng/t, substantially exceeding typical upper crustal background levels in the Geokhimi-

cheskoe area. Both Au and As demonstrated variation coefficients approaching or exceeding 5, indicating pronounced spatial heterogeneity in their distribution and suggesting potential accumulation patterns near mineralized zones. Quantile-quantile plots served as an effective visualization tool for assessing element distribution characteristics [2]. The generated quantile-quantile plots (fig. 12) revealed that even after logarithmic transformation, the geochemical datasets failed to conform to normal distribution patterns, highlighting the complex nature of element dispersion in the study area. The statistical findings collectively suggest significant mineralization processes affecting Au and As distribution, with their anomalous concentrations potentially serving as important exploration indicators within the Geokhimicheskoe mineral system. The non-normal distribution patterns observed through quantile-quantile analysis further emphasize the need for specialized statistical approaches when interpreting such geochemical datasets, particularly when dealing with pathfinder elements exhibiting strong mineralization affinity. These analytical outcomes provide crucial baseline data for subsequent

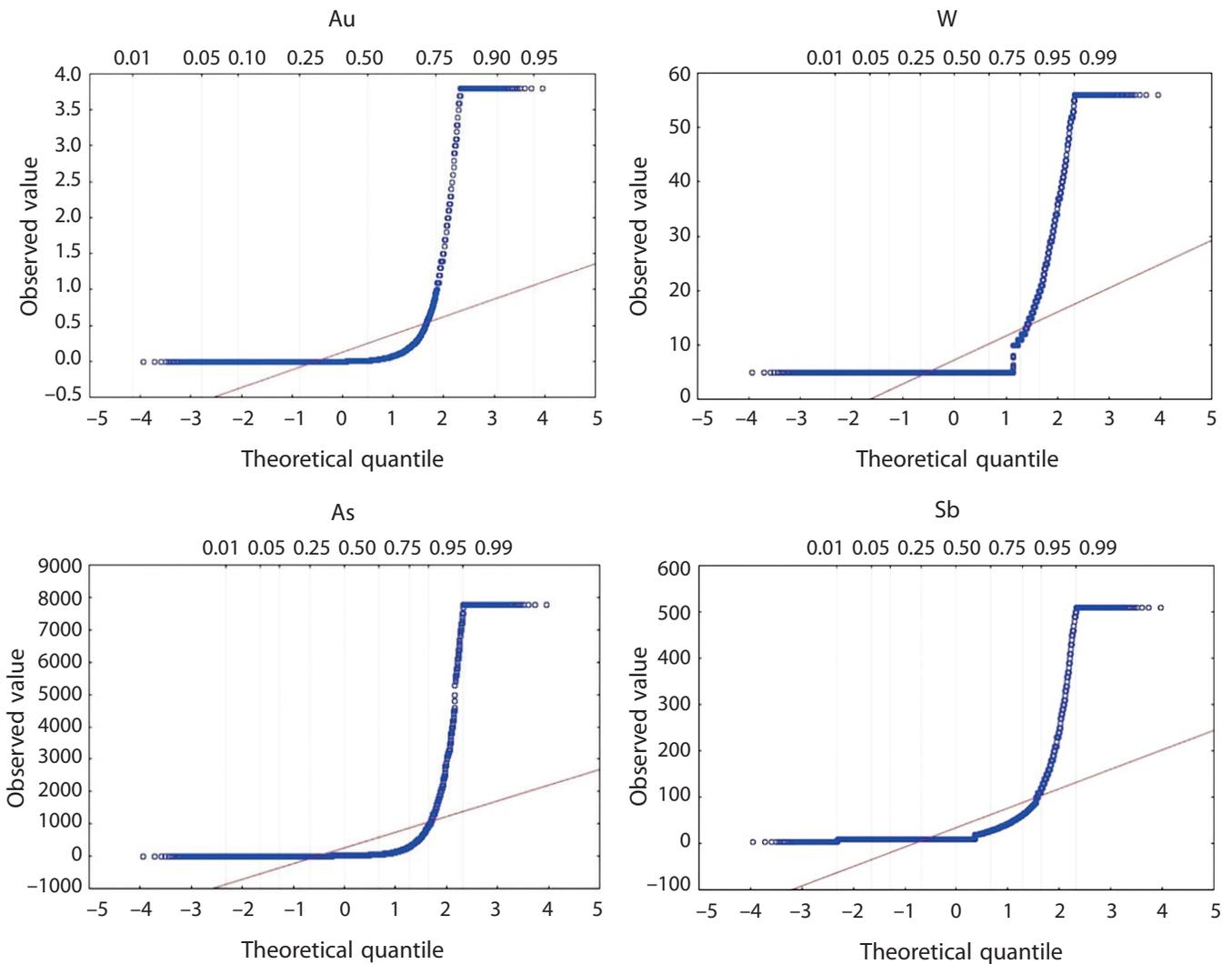


Fig. 12. Quantile-quantile plots of logarithmically transformed data for major elements in the section

factor analysis and spatial interpretation of element associations in the studied mineralization context.

Fig. 12 presents quantile-quantile plots illustrating distribution of observed concentrations of the chemical elements Au, W, As, Sb, Zn, Pb, Co, and Mo compared to the theoretical normal distribution. All the elements show significant deviation from normality, evident from the upward bending of data points in the upper quantiles. This pattern is especially pronounced for As, Sb, Zn, and W, where most data are clustered at lower values, followed by a sharp increase starting from approximately the 0.90–0.95 quantile range. This indicates the presence of anomalously high concentrations, typical of enrichment zones. The distribution of Au demonstrates a similar trend: the majority of points lie below the reference line, with a steep rise in the upper quantiles, suggesting local ore occurrences. Pb and Co exhibit more gradual deviations, although they also represent noticeable increases in higher quantiles. Mo stands out with a sharp and step-like rise in the upper range, pointing to isolated high concentrations against a generally low background. Overall, the distributions of all the examined elements

demonstrate positive skewness and anomalous values in the upper quantiles, indicating geochemical heterogeneity and the possible presence of mineralized zones within the study area.

The data points aligned along the central trend line represent dominant background concentrations within the geochemical dataset, while the values plotted at the both graph extremities correspond to relatively rare but geochemically significant anomalies that warrant particular attention. The investigation additionally examined element distribution patterns across different lithological units to evaluate host rock influences on metal enrichment. As detailed in Table 1, maximum gold concentrations were recorded in sandstone formations, whereas arsenic demonstrated peak values in siliceous siltstones followed by limestone sequences. Antimony exhibited its highest concentrations in quartz vein systems, with secondary enrichment in carbonate rocks found. Among siderophile elements, copper and cobalt demonstrated preferential accumulation in limestone lithologies, with subordinate concentrations occurred in quartz vein networks. These lithogeochemical patterns reveal distinct element-specific affinities

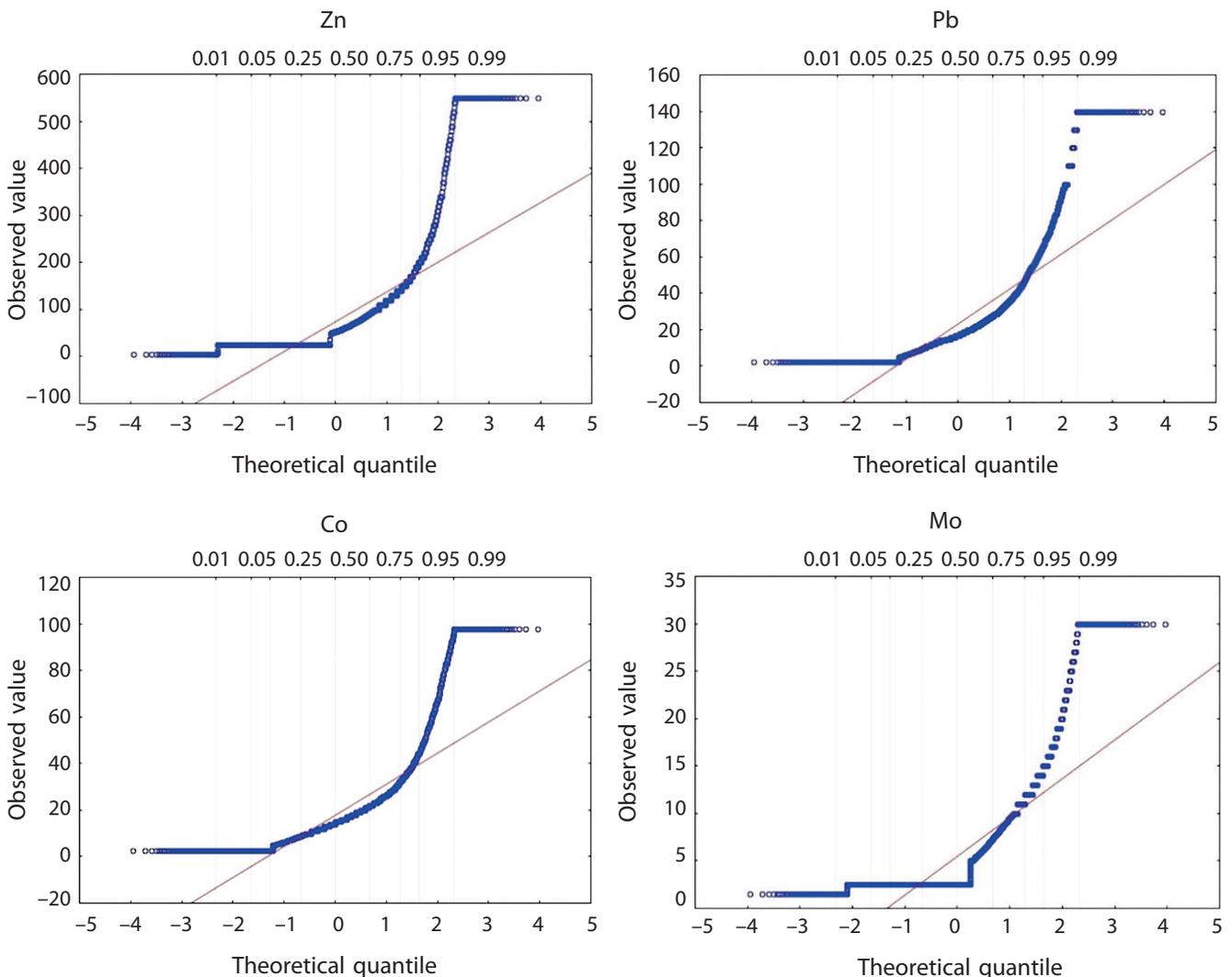


Рис. 12. Графики квантиль-квантиль логарифмически преобразованных данных по основным элементам в разрезе

**Geochemical characteristics of trace elements in different lithologies in the Geokhimicheskoe ore occurrence**

Таблица 1. Геохимические характеристики микроэлементов в различных литологиях на рудопроявлении Геохимическое

Lithology		Au	As	Sb	Ag	Ga	Cu	Co	Mo	Bi	Pb	Cr	P
All samples n = 620	Clarke of concentration	1266.67	300.00	51.00	6.80	3.00	5.95	7.00	12.00	2.27	8.24	4.09	18.29
	CV	3.97	3.95	2.05	0.65	0.59	0.78	0.86	0.91	0.19	0.98	0.76	1.66
	STD DEV	0.49	987.78	69.00	0.19	10.15	39.06	15.41	4.99	0.58	22.42	103.73	2152.97
	MEAN	0.12	250.22	33.72	0.29	17.14	49.79	17.84	5.50	3.11	22.92	135.78	1295.12
Standstones n = 24	Clarke of concentration	17.00	9.17	4.80	1.00	1.81	2.93	7.00	6.40	1.00	4.59	1.78	3.88
	CV	7.06	1.43	0.64	0.00	0.31	0.48	0.71	0.79	0.00	0.68	0.38	0.63
	STD DEV	0.06	52.12	7.38	0.00	5.29	22.97	11.77	4.41	0.00	13.81	82.32	563.17
	MEAN	0.01	36.51	11.49	0.25	16.93	47.37	16.63	5.61	3.00	20.17	219.39	891.31
Slates n = 41	Clarke of concentration	950.00	28.57	25.00	2.20	2.05	5.81	5.76	12.00	1.00	7.78	2.06	9.66
	CV	3.43	2.08	1.62	0.15	0.37	0.75	0.77	0.92	0.00	0.91	0.54	1.32
	STD DEV	0.53	198.64	44.73	0.04	6.90	41.25	16.28	5.83	0.00	22.36	97.55	1274.87
	MEAN	0.15	95.70	27.66	0.25	18.59	54.90	21.17	6.34	3.00	24.44	179.37	967.72
Siltstones n = 205	Clarke of concentration	422.22	158.14	19.62	6.80	2.83	4.81	6.53	5.36	2.27	7.37	3.15	13.64
	CV	3.37	3.42	1.71	0.80	0.55	0.70	0.94	0.85	0.25	0.89	0.67	1.52
	STD DEV	0.51	939.15	96.09	0.26	10.24	46.57	18.65	5.99	0.81	23.18	98.41	3093.48
	MEAN	0.15	274.95	56.18	0.33	18.65	66.94	19.94	7.08	3.21	25.96	146.75	2031.53
Granodiorites n = 238	Clarke of concentration	1100.00	390.00	16.00	3.56	2.67	4.17	4.50	7.60	1.00	7.50	4.09	6.33
	CV	4.34	3.96	2.06	0.49	0.57	0.67	0.71	0.86	0.10	0.97	0.76	1.26
	STD DEV	0.45	1042.41	38.78	0.13	9.82	27.46	11.78	3.63	0.30	21.29	103.52	1158.67
	MEAN	0.10	263.06	18.80	0.26	17.28	41.00	16.53	4.24	3.03	21.86	135.99	921.35
Limestone n = 46	Clarke of concentration	466.67	280.00	37.00	3.36	5.71	30.00	10.41	8.80	2.00	56.00	42.00	24.00
	CV	4.99	4.21	2.17	0.41	0.92	1.36	1.24	0.81	0.24	1.84	1.72	1.87
	STD DEV	0.25	280.19	65.22	0.11	4.24	30.77	13.89	4.53	0.77	23.26	39.78	1398.34
	MEAN	0.05	66.57	30.11	0.28	4.59	22.65	11.24	5.58	3.21	12.64	23.12	746.85
Siliceous siltstones n = 20	Clarke of concentration	214.29	42.31	13.00	2.12	3.30	5.64	7.00	7.20	2.00	5.00	5.19	50.00
	CV	4.65	4.77	1.02	0.21	0.57	0.79	1.05	0.76	0.10	0.75	0.81	2.43
	STD DEV	0.28	421.27	21.38	0.05	6.94	36.93	19.17	3.56	0.30	14.60	95.14	2288.34
	MEAN	0.06	88.31	21.06	0.26	12.25	46.71	18.33	4.70	3.03	19.36	117.93	940.31
Quartz vein n = 16	Clarke of concentration	633.33	503.23	51.00	6.80	5.15	8.93	6.29	12.00	2.27	5.71	8.12	18.33
	CV	2.32	2.26	2.46	0.77	0.81	1.09	0.90	0.99	0.26	1.01	1.18	1.44
	STD DEV	1.26	2592.13	59.25	0.27	10.41	42.18	9.36	5.07	0.82	37.10	79.29	830.03
	MEAN	0.54	1144.92	24.10	0.35	12.79	38.76	10.46	5.10	3.20	36.58	67.40	577.43
Diorites n = 30	Clarke of concentration	760.00	487.50	43.00	4.40	2.32	5.14	5.12	10.40	2.00	8.00	2.90	7.20
	CV	3.07	1.13	1.23	0.42	0.35	0.74	0.74	1.07	0.18	1.74	0.52	1.85
	STD DEV	1.01	2227.38	75.21	0.15	10.05	35.87	15.83	5.12	0.66	24.37	112.26	1235.47
	MEAN	0.38	903.74	46.14	0.28	23.76	46.37	21.53	5.26	3.14	23.59	177.25	1060.68

to particular rock types, suggesting that both primary depositional controls and subsequent remobilization processes influenced the current distribution of ore and pathfinder elements. The observed metal partitioning between different lithological units provides critical insights for understanding mineralization controls and developing targeted exploration strategies in analogous geological settings. The sandstone-hosted gold enrichment coupled with arsenic association in fine-grained siliceous rocks and antimony prevalence in vein systems collectively indicate potential epithermal or orogenic mineralization processes operating within the study area.

### Elemental association

Certain elements can serve as valuable pathfinders for mineral deposit exploration due to their spatial association with specific mineralization types, while others may reflect unrelated geological processes or events. The obtained results reveal that gold, which relates to the primary component of interest, demonstrates weak correlations with typical siderophile group elements — with the notable exception of tungsten. However, it represents a relatively strong correlation with arsenic, a characteristic chalcophile element (figs. 13, 14). This unexpected geochemical relationship suggests that gold mineralization in the studied area may be more closely linked to hydrothermal processes involving arsenic-rich fluids rather than conventional magmatic or crustal differentiation trends typically related to siderophile elements. The observed elemental associations provide critical insights for refining exploration targeting criteria, particularly in distinguishing between different mineralization styles

and identifying potential vectors toward high-grade zones. The distinct correlation patterns between gold and arsenic, contrasting with its weaker affinity to traditional siderophile companions, underscore the complex geochemical behavior of gold under varying physicochemical conditions and emphasize the need for deposit-specific pathfinder element selection in exploration programs. These findings align with previous studies documenting similar gold-arsenic associations in epithermal and orogenic gold systems, where arsenic often serves as a key indicator of gold-bearing fluid pathways and depositional environments. The recognition of such diagnostic element pairs enhances the predictive capability of geochemical surveys and contributes to more efficient mineral resource assessment strategies in analogous geological terrains.

To establish the elemental associations related to mineralization processes, there was performed an R-mode factor analysis that extracted the principal component to derive independent components explaining the majority of dataset variances. The varimax rotation algorithm was subsequently applied to the factor loading matrix in order to optimize the interpretability by reducing cross-loadings between variables. A multidimensional scatter-plot representation (fig. 15) visualized a complete set of the analyzed variables. The dimensionality reduction process retained four principal components, with eigenvalues exceeding the Kaiser criterion threshold of 1.0, collectively accounting for 54.2 % of the total variance within the geochemical dataset. This analytical approach effectively delineated distinct elemental groupings that reflect different mineralization processes and paragenetic associations, with the rotated factor solution providing enhanced clarity in identifying key element clusters. The extracted

	Au	W	Ni	Cu	Co	As	Sb	Mo	Ag	Pb	Zn	Be	Mn	P
Au	100	52	7	12	7	77	13	12	8	11	5	3	4	1
W	52	100	14	29	16	53	30	21	48	20	17	16	3	7
Ni	7	14	100	60	61	6	24	24	8	20	55	2	7	22
Cu	12	29	60	100	54	11	39	32	29	26	44	9	12	35
Co	7	16	61	54	100	4	16	17	9	18	36	16	25	10
As	77	53	6	11	4	100	13	14	5	15	6	0	8	3
Sb	13	30	24	39	16	13	100	30	22	25	34	13	5	26
Mo	12	21	24	32	17	14	30	100	19	29	28	-1	13	25
Ag	8	48	8	29	9	5	22	19	100	17	20	21	3	15
Pb	11	20	20	26	18	15	25	29	17	100	33	2	4	14
Zn	5	17	55	44	36	6	34	28	20	33	100	6	20	26
Be	3	16	2	9	16	0	13	-1	21	2	6	100	6	6
Mn	4	3	7	12	25	8	5	13	3	4	20	6	100	7
P	1	7	22	35	10	3	26	25	15	14	26	6	7	100

Fig. 13. Correlation coefficient matrix of chemical elements by masses (%)

Рис. 13. Матрица коэффициентов корреляции химических элементов по массивам (%)

components demonstrate statistically significant associations between particular suites of elements, which offer valuable insights into the underlying geochemical processes governing metal distribution patterns. The cumulative explained variance percent-

age indicates that these four principal components capture the most essential relationships within the multivariate dataset while maintaining analytical parsimony. The resulting factor model serves as a robust foundation for interpreting the complex geochemical

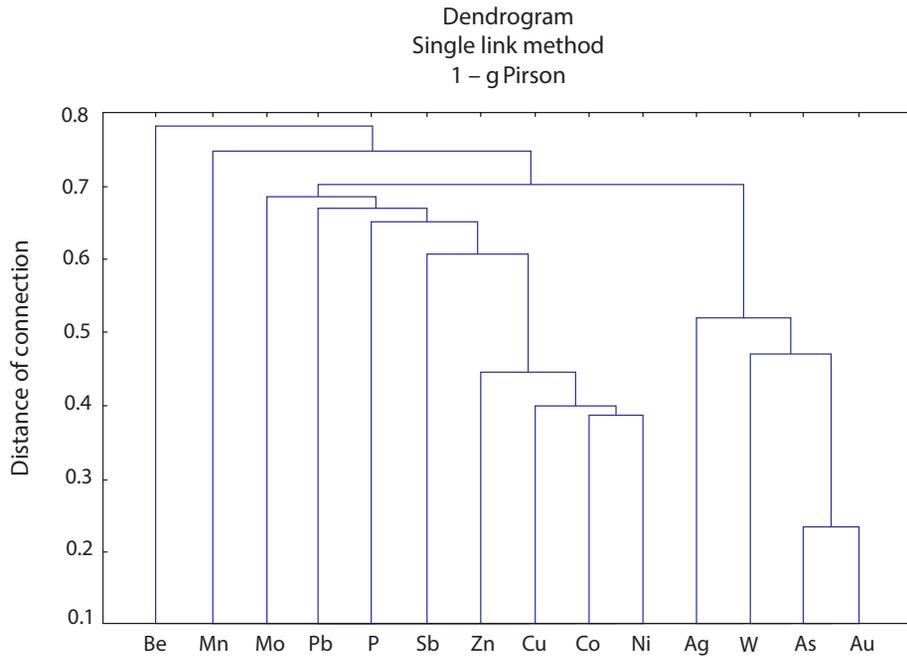


Fig. 14. Dendrogram of chemical elements relationships by masses

Рис. 14. Дендрограмма связей химических элементов по массивам

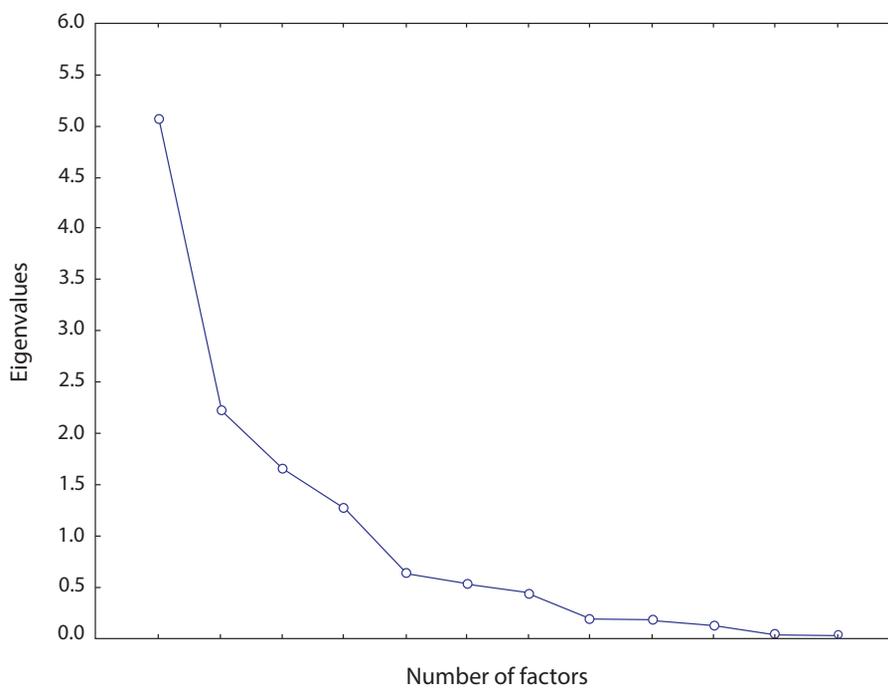


Fig. 15. Breakpoint line for factor analysis (after varimax rotation)

Рис. 15. Линия облома для факторного анализа (после варимакс-вращения)

signatures observed in the study area and establishing meaningful connections between elemental associations and specific mineralization events.

Table 2 comprehensively displays the factor analysis results and demonstrates how communality values quantify the proportion of each element's variance explained by the extracted factors, with elevated values signifying a more robust variable representation. The rotated component matrix revealed four distinct geochemical signatures: F1 exhibited strong loadings from a polymetallic association comprising W-Ga-Ni-Cu-Co-Sb-Bi-Cd-Zn-V-Li-Ge, suggesting a potential magmatic-hydrothermal origin. F2 represented preferential enrichment of Bi-Cd-Li, possibly indicating late-stage hydrothermal processes or secondary remobilization events. F3 demonstrated a characteristic Au-As pairing, typical of orogenic gold systems where arsenic serves as a pathfinder for gold mineralization. F4 was characterized by Co-Mn co-variation, potentially reflecting

redox-controlled deposition in specific lithological units. The differential element clustering across factors implies multiple superimposed mineralization events or varying physical and chemical conditions during ore formation. Particularly noteworthy is the segregation of gold and arsenic into a separate factor from base metals, reinforcing their distinct geochemical behavior and transport mechanisms. The high communality values for most elements confirm the model's effectiveness in capturing essential geochemical relationships, with certain elements demonstrating cross-loadings that may indicate transitional geochemical affinities or multiple genetic associations. These factor-derived elemental groupings provide a quantitative framework for understanding metal distribution patterns and developing targeted exploration strategies in similar geological environments.

The geochemical factor analysis revealed four distinct elemental groupings with specific geological

Table 2

**Factor analysis loadings for all 22 analyzed elements (after varimax rotation)**

Таблица 2. Нагрузки факторного анализа, выполненного для всех 22 анализируемых элементов (после варимакс-вращения)

Elements	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Au	0.313	-0.067	0.724	-0.125
W	0.588	-0.274	0.469	-0.032
Ga	0.588	0.393	0.255	0.134
Ni	0.614	0.496	-0.252	-0.216
Cu	0.676	0.199	-0.277	-0.062
Co	0.502	0.375	-0.222	-0.506
As	0.318	-0.042	0.751	-0.082
Sb	0.516	-0.117	-0.159	0.256
Mo	0.450	0.040	-0.104	0.304
Ag	0.439	-0.415	-0.082	0.075
Bi	0.564	-0.649	-0.110	-0.046
Cd	0.576	-0.626	-0.180	-0.063
Pb	0.500	0.086	0.088	0.377
Zn	0.604	0.165	-0.313	-0.023
V	0.607	0.449	-0.099	0.141
Cr	0.366	0.525	0.225	-0.172
Sn	0.443	0.122	0.340	0.081
Be	0.205	-0.356	-0.109	-0.319
Li	0.553	-0.535	-0.127	-0.110
Ge	0.664	-0.059	0.099	0.103
Mn	0.187	0.004	-0.084	-0.511
P	0.314	0.110	-0.291	0.363
Explained variance	5.524	2.617	2.062	1.233
Probability of total variance contribution (%)	25.1	11.9	9.4	5.6

implications. The F1 cluster predominantly comprised siderophile elements (W-Ga-Ni-Cu-Co-Sb-Bi-Cd-Zn-V-Li-Ge) typically found in olivine and pyroxene minerals, exhibiting strong association with limestone and quartz vein systems in the Geokhimicheskoe ore occurrence. This assemblage suggests primary magmatic differentiation processes. The F2 grouping (Bi-Cd-Li) exhibits characteristics of high-temperature hydrothermal metasomatism, displaying genetic links to granite-related mineralization events. Of particular metallogenic significance, the F3 association (Au-As) represents a diagnostic element pair for gold mineralization, with its chalcophile affinity indicating deposition under intermediate-to-low temperature conditions within a gold-arsenopyrite-quartz mineralizing stage — this factor effectively delineates the primary ore-forming event and identifies secondary dispersion halos around gold-bearing structures. The final F4 grouping (Co-Mn) reflects precipitation of these elements as sulfides or carbonates in hydrothermal systems, with manganese occurring in rhodochrosite ( $\text{MnCO}_3$ ) and cobalt in cobaltite ( $\text{CoAsS}$ ) or carrollite ( $\text{CuCo}_2\text{S}_4$ ), characteristic of moderate-to-low temperature vein-type mineralization.

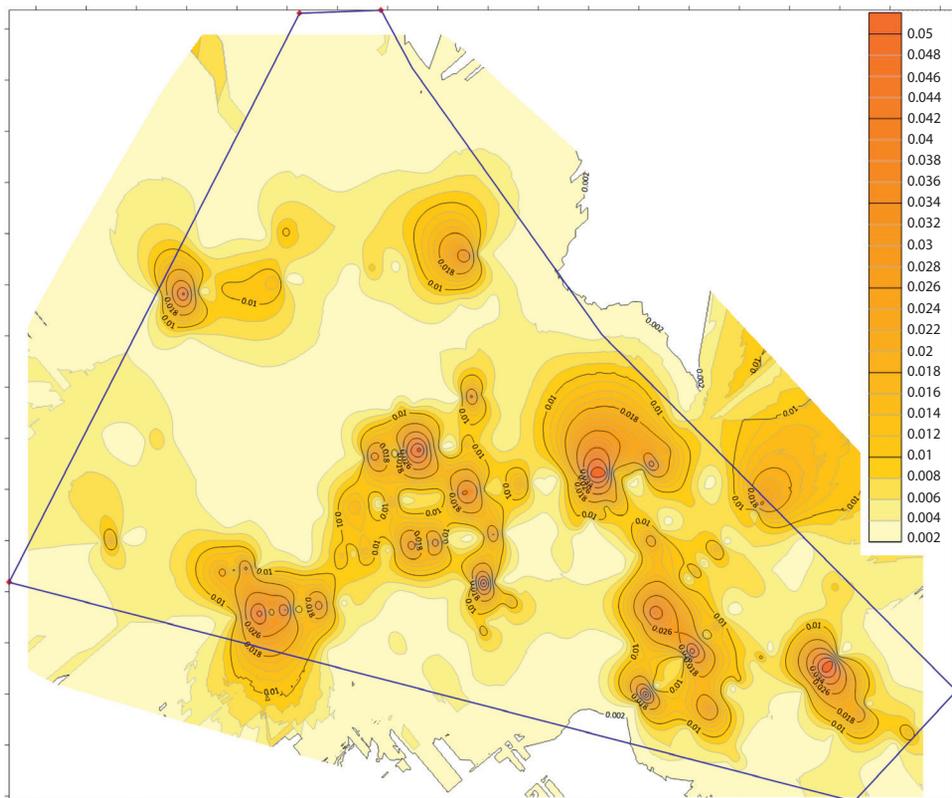
#### ***Geochemical halos of gold and associated pathfinder elements***

Factor analysis differentiated mixed geochemical populations and detected anomalies within the initial

factor scores. The Surfer® 18.1.186 software (advanced contouring, gridding, and 3D surface mapping application) generated visual representations, including point data interpolation into raster maps, primary geochemical halo delineation, additive indicator localization plans on primary dispersion halos, and multiplicative indicator distribution mapping.

The resulting anomaly maps (figs. 16–22) display a clear separation between background and anomalous values, with gold assay sample locations (marked by black triangles in fig. 21) intersecting known mineralized zones. The background values exhibit heterogeneous distribution across the study area, with sampling points occurring in both high- and low-background regions. This irregular pattern demonstrates limitations to conventional anomaly identification techniques based solely on mean and standard deviation calculations relating to non-uniform background distributions.

Areas with elevated background concentrations exhibit strong spatial correlation with altered sandstones and granite dikes, suggesting their potential role as metal sources for ore formation processes. Anomaly morphology analysis (figs. 16–22) reveals distinct structural control by a plastic shear zone. The fractal-attractor analytical method proved to be particularly effective in enhancing subtle geochemical anomalies, with the majority of samples demonstrating significant assay results clustered within or adjacent to high-anomaly zones. Minor discrepancies should



**Fig. 16. Primary geochemical halos of Au in the Geokhimicheskoe ore occurrence**

**Рис. 16. Первичные геохимические ореолы Au на рудопоявлении Геохимическое**

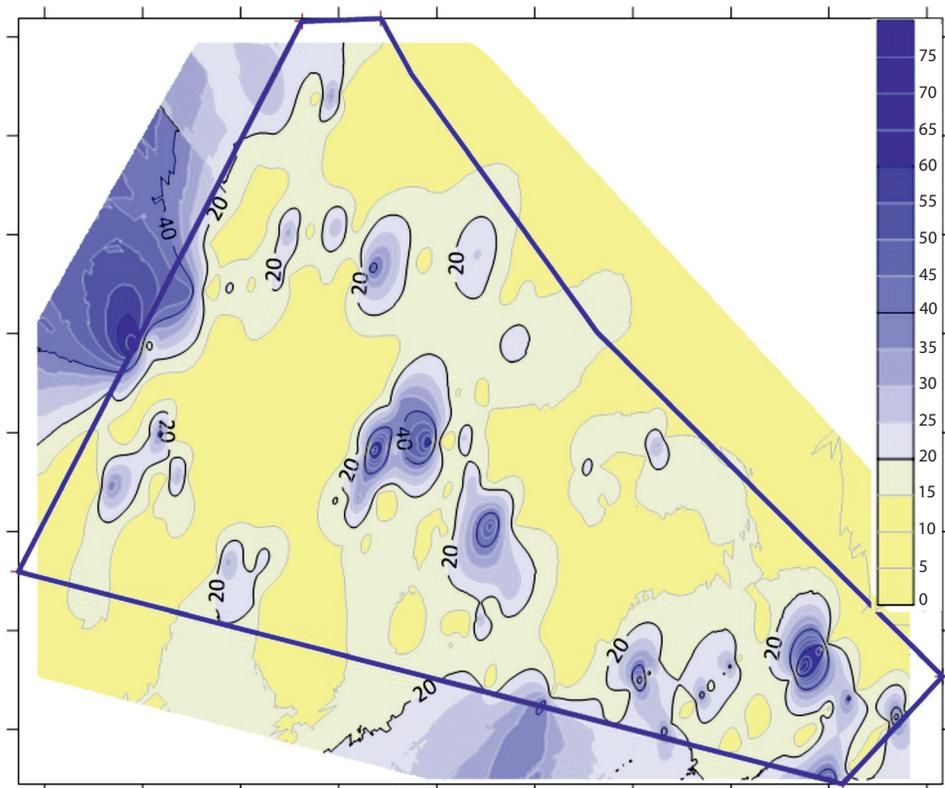


Fig. 17. Primary geochemical halos of As in the Geokhimicheskoe ore occurrence

Рис. 17. Первичные геохимические ореолы As на рудопроявлении Геохимическое

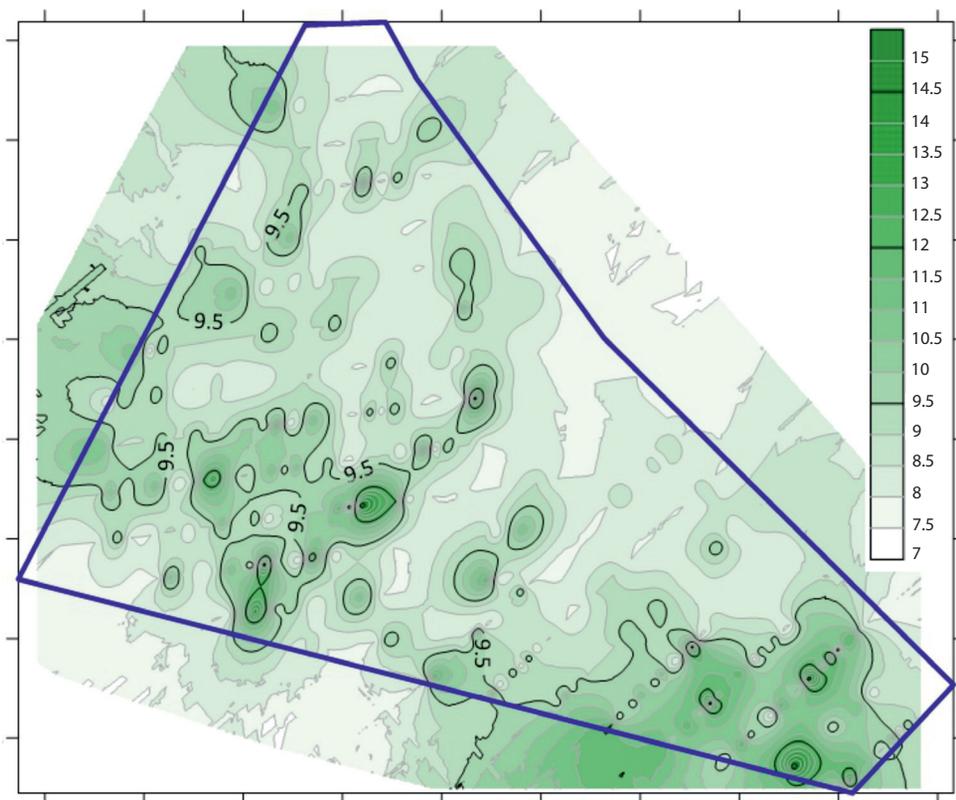


Fig. 18. Primary geochemical halos of Co in the Geokhimicheskoe ore occurrence

Рис. 18. Первичные геохимические ореолы Co на рудопроявлении Геохимическое

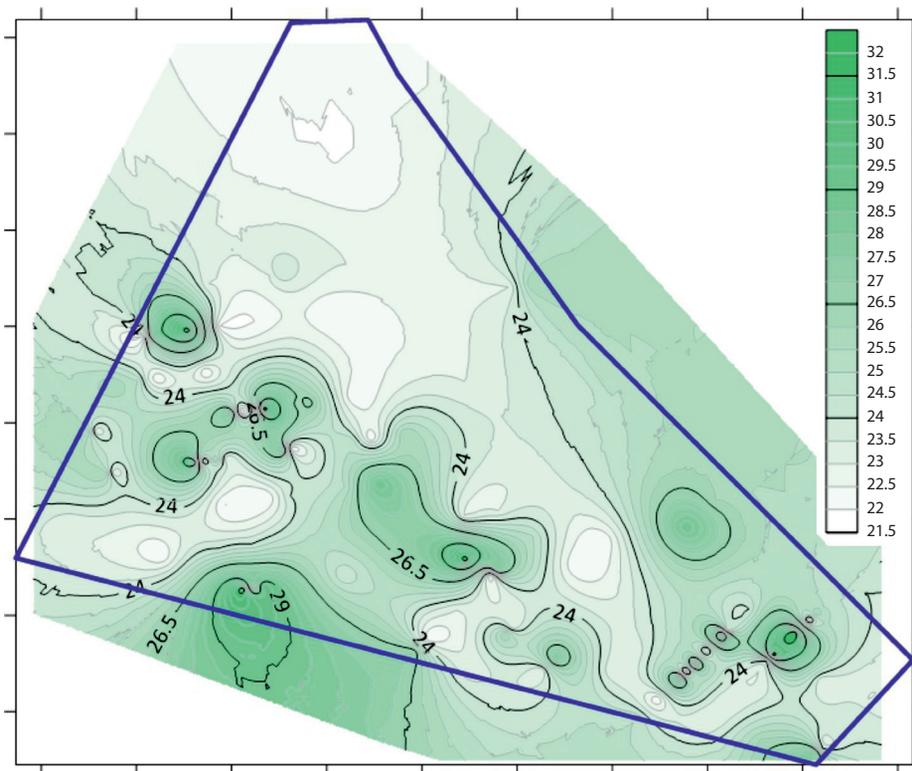


Fig. 19. Primary geochemical halos of Cu in the Geokhimicheskoe ore occurrence

Рис. 19. Первичные геохимические ореолы Cu на рудопоявлении Геохимическое

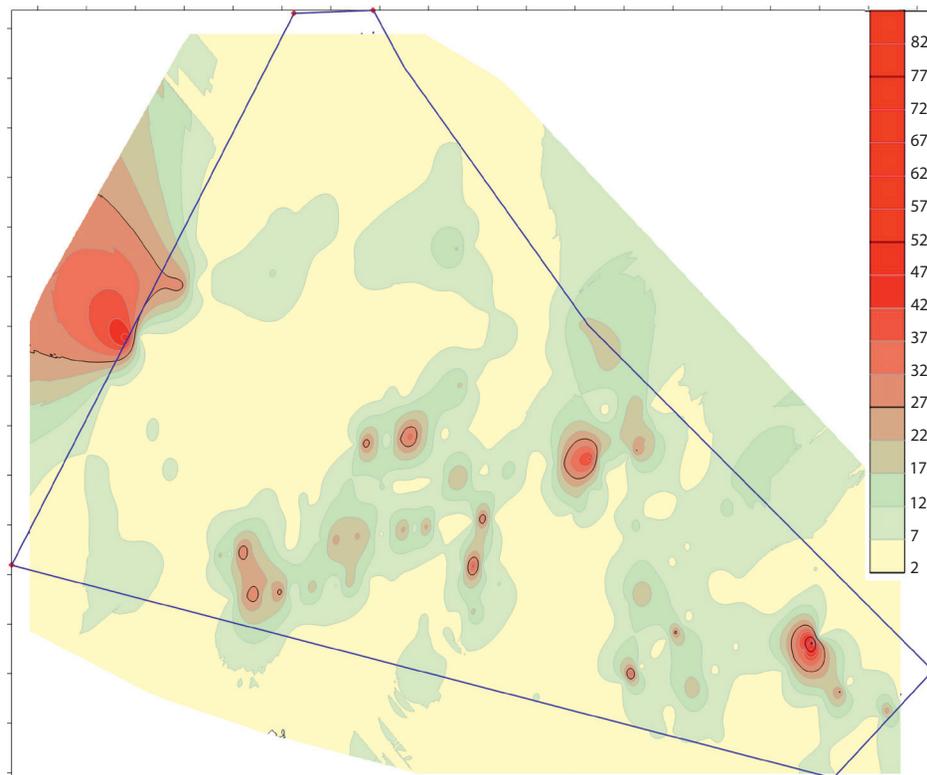
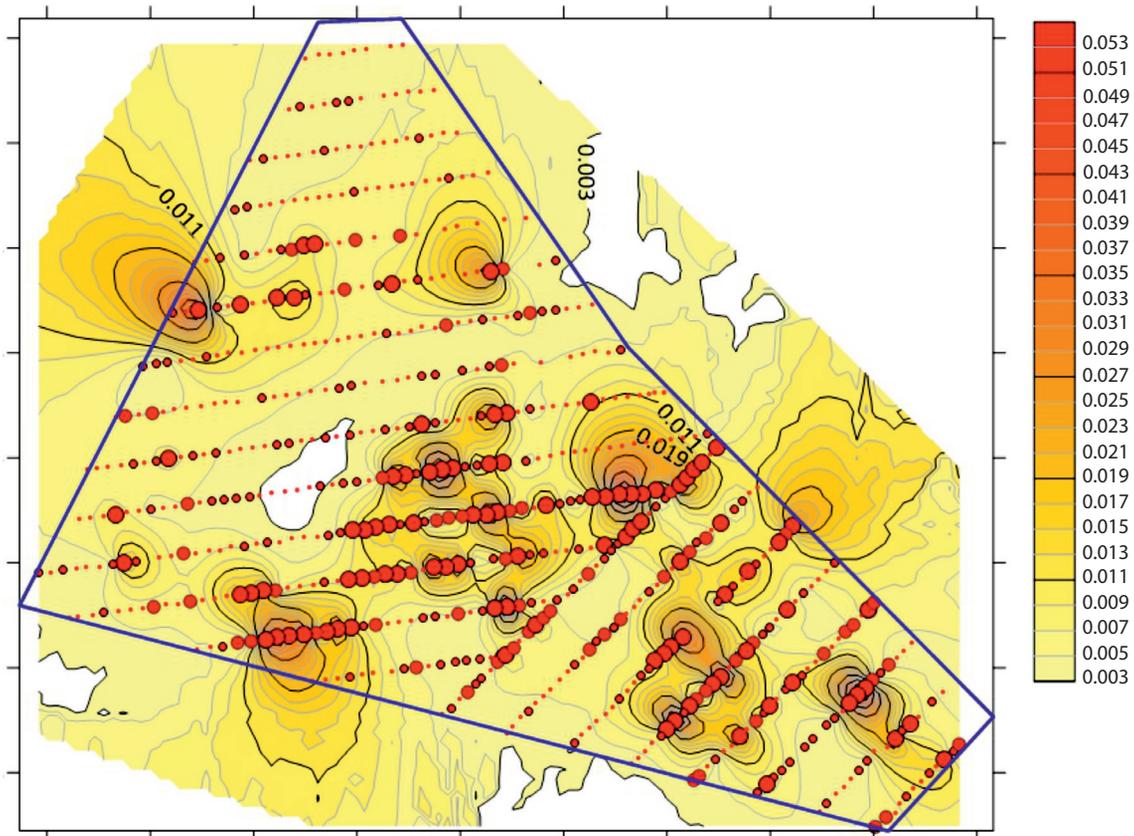


Fig. 20. Localization map of additive indicators (Au-As) on primary geochemical dispersion halos in the Geokhimicheskoe ore occurrence

Рис. 20. План локализации аддитивных индикаторов (Au-As) на первичных геохимических ореолах рассеяния на рудопоявлении Геохимическое



**Fig. 21. Primary geochemical halos of Au in the Geokhimicheskoe ore occurrence, with sampling points located**  
The figure size varies depending on the Au indicator

**Рис. 21. Первичные геохимические ореолы Au на рудопоявлении Геохимическое с точками опробования**  
Размер фигуры варьируется в зависимости от индикатора Au

reflect sampling inconsistencies, which further validate the predictive capability of the fractal-attractor method in this geological environment and its effectiveness in identifying promising exploration targets for subsequent investigation. The integrated approach, which combines factor analysis with advanced spatial interpretation techniques, provides a robust framework for understanding complex element dispersion patterns and optimizing mineral exploration strategies in similar geological settings.

## CONCLUSION

The study conducted in the Geokhimicheskoe gold occurrence demonstrated effectiveness of geochemical exploration methods to identify anomalies associated with gold mineralization. Factor analysis detected polymetallic element associations that can serve as direct indicators for ore prospecting, yielding the following key findings.

The applied factor analysis model revealed that gold-related polymetallic elements in the Geokhimicheskoe ore occurrence include As and W. The factor distribution patterns also highlighted geochemical zonation, which indicated that gold mineralization is preferentially localized in metasedimentary sandstones

influenced by mineralizing fluids derived from granitic dikes and concentrated along northwest-southeast trending fault zones.

Within the Geokhimicheskoe ore occurrence in the Kuldzhuktau Mountains, there were identified the following rock types: quartzites, various schists, granitoids, diorites, dacites, quartz veins, breccias, etc. All rock units exhibited varying degrees of metasomatic alteration, with sericitization, iron oxidation, silicification, and carbonatization being the most widespread. Ore mineralization across all rock types is predominantly represented by iron and arsenic hydroxides, secondary copper minerals, and hematite, typically occurring as disseminated textures with occasional thin veinlets and ochreous fracture fillings.

Gold was identified as the principal economic component in the sampled material, with elevated concentrations detected in selected samples. Strong positive correlations were established between gold, arsenic, and tungsten contents, which attributed to the presence of gold-pyrite-arsenopyrite and gold-rare metal paragenetic mineral associations. Elevated arsenic and tungsten concentrations serve as reliable geochemical indicators for gold mineralization.

In terms of mineralogical and geochemical characteristics, the gold mineralization in the Geokhimicheskoe

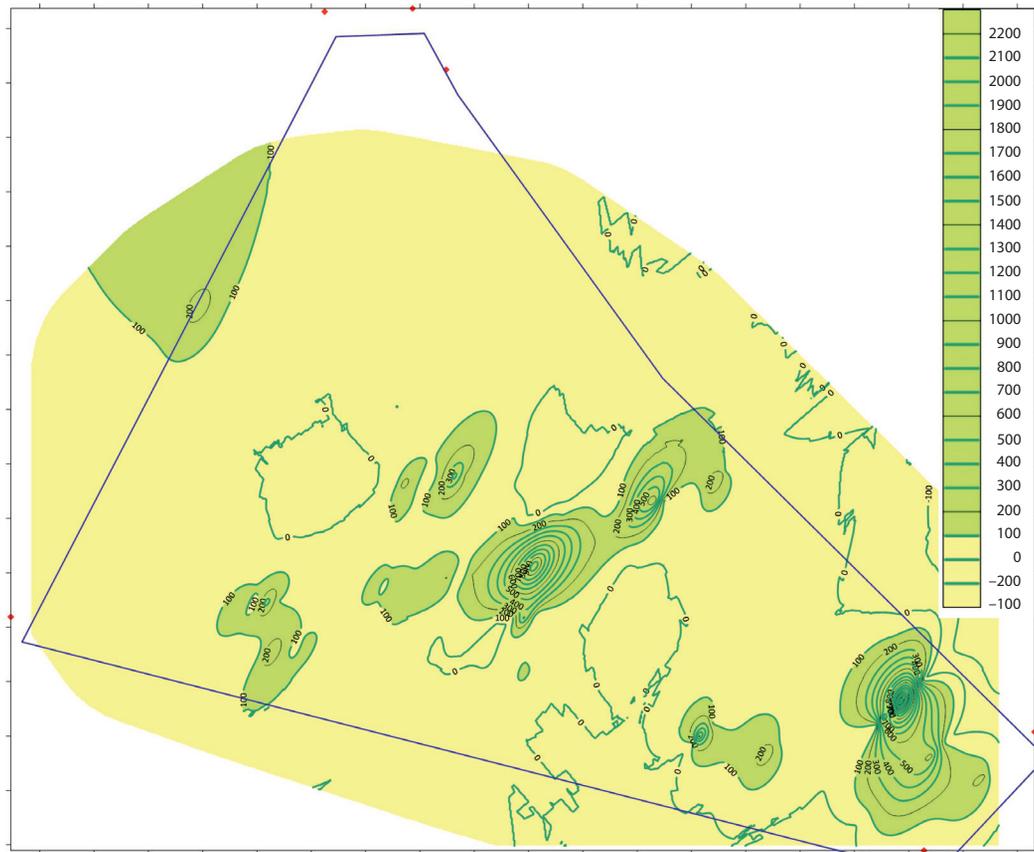


Fig. 22. Multiplicative indicator ( $Au \times As$ ) distribution across the area in the Geokhimicheskoe ore occurrence

Рис. 22. Распределение мультипликативного индикатора ( $Au \times As$ ) на площади рудопоявления Геохимическое

gold occurrence exhibits significant similarities to the Taushan ore deposits, suggesting comparable formation conditions and potential genetic relationships between these mineralized systems. The integrated application of factor analysis and geochemical mapping techniques has proven to be effective in distinguishing mineralization-related element associations from background distributions, providing a robust methodology for exploration in similar geological environments. The identified element correlations and spatial distribution patterns offer valuable criteria for future prospecting efforts in the region, particularly for concealed gold mineralization associated with arsenic and tungsten anomalies. These findings contribute to the development of more efficient exploration models for gold deposits in analogous metallogenic provinces.

## REFERENCES

1. Bounessah M., Atkin B. P. An application of exploratory data analysis (EDA) as a robust non-parametric technique for geochemical mapping in a semi-arid climate. *Applied Geochemistry*. 2003; 18 (8): 1185–1195. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00247-0](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00247-0).
2. Identification of weak anomalies: A multifractal perspective / R. Zuo [et al.]. *Journal of Geochemical Exploration*. 2015; 148: 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.05.005>.
3. Zhmodik S. M., Roslyakova N. V. Geochemistry of gold in hydrothermal processes. *Development history of the Institute of Geology and Geophysics, Siberian Branch (AS USSR and RAS) and its research areas*. Novosibirsk: Acad. Publ. House "Geo"; 2010. P. 486–490. (In Russ.).
4. Kim J.-O., Mueller Ch. W. Factor analysis: Statistical methods and practical issues. *Factor, discriminant, and cluster analysis* / J.-O. Kim [et al.]; transl. A. M. Khotinskiy, S. B. Korolev; Ed. I. S. Enyukov. Moscow: Finances and Statistics; 1989. P. 5–77. (In Russ.).
5. Sinclair A. J. Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs. *Journal of Geochemical Exploration*. 1974; 3 (2): 129–149. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(74\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0375-6742(74)90030-2).
6. Stanley C. R., Sinclair A. J. Comparison of probability plots and the gap statistic in the selection of thresholds for exploration geochemistry data. *Journal of Geochemical Exploration*. 1989; 32 (1–3): 355–357. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(89\)90076-9](https://doi.org/10.1016/0375-6742(89)90076-9).
7. Kürzl H. Exploratory data analysis: Recent advances for the interpretation of geochemical data. *Journal of Geochemical Exploration*. 1988; 30 (1–3): 309–322. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(88\)90066-0](https://doi.org/10.1016/0375-6742(88)90066-0).
8. Reimann C. Geochemical mapping: Technique or art? *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2005; 5 (4): 359–370. <https://doi.org/10.1144/1467-7873/03-051>.
9. Chiprés J. A., Castro-Larragoitia J., Monroy M. G. Exploratory and spatial data analysis (EDA-SDA) for determining regional background levels and anomalies of potentially toxic elements in soils from Catorce-Matehuala, Mexico. *Applied Geochemistry*. 2009; 24 (8): 1579–1589. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.04.022>.

10. Zhao J., Chen S., Zuo R. Identifying geochemical anomalies associated with Au-Cu mineralization using multifractal and artificial neural network models in the Ningqiang district, Shaanxi, China. *Journal of Geochemical Exploration*. 2016; 164: 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.06.018>.
11. Agterberg F. P. Multifractal simulation of geochemical map patterns. *Geologic modeling and simulation. Computer applications in the earth sciences* / Eds. D. F. Merriam, J. C. Davis. Boston, MA: Springer; 2001. P. 327–346. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1359-9\\_17](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1359-9_17).
12. Reimann C., Filzmoser P., Garrett R. G. Factor analysis applied to regional geochemical data: Problems and possibilities. *Applied Geochemistry*. 2002; 17 (3): 185–206. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(01\)00066-X](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(01)00066-X).
13. Razikov O. T., Maripova S. T., Tokhirzhonov K. O. Artificial intelligence methods in classifying geological and structural blocks with various metallogenic specialization in the mountains of Kuldzhuktau (Uzbekistan). *Proc. of Sci. Conf. "Current Issues of Prospecting Geology"*, Moscow, 22–24 Nov. 2022. Moscow: VIMS; 2023. P. 248–256. (In Russ.).
14. Khamrabaev I. Kh. Magmatism and postmagmatic processes in Western Uzbekistan. Tashkent: Uzbek SSR Acad. of Sci. Publ. House; 1956. 471 p. (In Russ.).
15. Karpova E. D. Metallogenic zoning of the Tien Shan and Pamirs. *Soviet Geology*. 1959; (8): 81–101. (In Russ.).
16. Geology of USSR. Vol. XXIII. Uzbek SSR. Mineral resources / Ed. Kh. T. Tulyaganov. Moscow: Nedra; 1983. 232 p. (In Russ.).
17. Borovikov V. P. Statistica. The art of computer-based data analysis. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow [et al.]: Piter; 2003. 688 p. (In Russ.).
18. Belonin M. D., Golubeva V. A., Skublov G. T. Factor analysis in geology. Moscow: Nedra; 1982. 269 p. (In Russ.).
19. Kaiser H. F. An index of factorial simplicity. *Psychometrika*. 1974; 39 (1): 31–36. <https://doi.org/10.1007/BF02291575>.
20. Deposit density of tungsten polymetallic deposits in the eastern Nanling metallogenic belt, China / T. Li [et al.]. *Ore Geology Reviews*. 2018; 94: 73–92. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.01.010>.
21. Bartlett M. S. Tests of significance in factor analysis. *British Journal of Statistical Psychology*. 1950; 3 (2): 77–85. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8317.1950.tb00285.x>.
5. Sinclair A. J. Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs // *Journal of Geochemical Exploration*. 1974. Vol. 3, no. 2. P. 129–149. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(74\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0375-6742(74)90030-2).
6. Stanley C. R., Sinclair A. J. Comparison of probability plots and the gap statistic in the selection of thresholds for exploration geochemistry data // *Journal of Geochemical Exploration*. 1989. Vol. 32, nos. 1–3. P. 355–357. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(89\)90076-9](https://doi.org/10.1016/0375-6742(89)90076-9).
7. Kürzl H. Exploratory data analysis: Recent advances for the interpretation of geochemical data // *Journal of Geochemical Exploration*. 1988. Vol. 30, nos. 1–3. P. 309–322. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(88\)90066-0](https://doi.org/10.1016/0375-6742(88)90066-0).
8. Reimann C. Geochemical mapping: Technique or art? // *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2005. Vol. 5, no. 4. P. 359–370. <https://doi.org/10.1144/1467-7873/03-051>.
9. Chiprés J. A., Castro-Larragoitia J., Monroy M. G. Exploratory and spatial data analysis (EDA-SDA) for determining regional background levels and anomalies of potentially toxic elements in soils from Catorce-Matehuala, Mexico // *Applied Geochemistry*. 2009. Vol. 24, no. 8. P. 1579–1589. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.04.022>.
10. Zhao J., Chen S., Zuo R. Identifying geochemical anomalies associated with Au-Cu mineralization using multifractal and artificial neural network models in the Ningqiang district, Shaanxi, China // *Journal of Geochemical Exploration*. 2016. Vol. 164. P. 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.06.018>.
11. Agterberg F. P. Multifractal simulation of geochemical map patterns // *Geologic modeling and simulation. Computer applications in the earth sciences* / Eds. D. F. Merriam, J. C. Davis. Boston, MA : Springer, 2001. P. 327–346. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1359-9\\_17](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1359-9_17).
12. Reimann C., Filzmoser P., Garrett R. G. Factor analysis applied to regional geochemical data: Problems and possibilities // *Applied Geochemistry*. 2002. Vol. 17, no. 3. P. 185–206. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(01\)00066-X](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(01)00066-X).
13. Разиков О. Т., Марипова С. Т., Тохиржонов К. О. Применение методов искусственного интеллекта в классификации геолого-структурных блоков с различной металлогенической специализацией в горах Кульджуқтау (Узбекистан) // Тр. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы поисковой геологии», Москва, 22–24 нояб. 2022 г. М. : ФГБУ «ВИМС», 2023. С. 248–256.
14. Хамрабаев И. Х. Магматизм и постмагматические процессы в Западном Узбекистане. Ташкент : Изд-во Акад. наук УзССР, 1958. 471 с.
15. Карпова Е. Д. Металлогеническое районирование Тянь-Шаня и Памира // *Советская геология*. 1959. № 8. С. 81–101.
16. Геология СССР. Т. XXIII. Узбекская ССР. Полезные ископаемые / Под ред. Х. Т. Туляганова. М. : Недра, 1983. 232 с.
17. Боровиков В. П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. 2-е изд. М. [и др.] : Питер, 2003. 688 с.
18. Белонин М. Д., Голубева В. А., Скублов Г. Т. Факторный анализ в геологии. М. : Недра, 1982. 269 с.
19. Kaiser H. F. An index of factorial simplicity // *Psychometrika*. 1974. Vol. 39, no. 1. P. 31–36. <https://doi.org/10.1007/BF02291575>.
20. Deposit density of tungsten polymetallic deposits in the eastern Nanling metallogenic belt, China / T. Li [et al.] // *Ore Geology Reviews*. 2018. Vol. 94. P. 73–92. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.01.010>.
21. Bartlett M. S. Tests of significance in factor analysis // *British Journal of Statistical Psychology*. 1950. Vol. 3, no. 2. P. 77–85. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8317.1950.tb00285.x>.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bounessah M., Atkin B. P. An application of exploratory data analysis (EDA) as a robust non-parametric technique for geochemical mapping in a semi-arid climate // *Applied Geochemistry*. 2003. Vol. 18, no. 8. P. 1185–1195. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00247-0](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00247-0).
2. Identification of weak anomalies: A multifractal perspective / R. Zuo [et al.] // *Journal of Geochemical Exploration*. 2015. Vol. 148. P. 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.05.005>.
3. Жмодик С. М., Рослякова Н. В. Геохимия золота в гидротермальных процессах // История развития Института геологии и геофизики СО (АН СССР и РАН) и его научных направлений. Новосибирск : Акад. изд-во «Гео», 2010. С. 486–490.
4. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч. У. Факторный анализ: статистические методы и практические вопросы // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж.-О. Ким [и др.] ; пер. с англ. А. М. Хотинского, С. Б. Королева ; под ред. И. С. Енюкова. М. : Финансы и статистика, 1989. С. 5–77.

### **Bekhruz B. Oganiyozov**

MSc (Earth Sciences), Independent Researcher (PhD)

University of Geological Sciences,  
Tashkent, Uzbekistan

<https://orcid.org/0009-0004-0849-9536>  
behruzoga@gmail.com

### **Majid M. Pirnazarov**

DSc (Geology and Mineralogy),  
Senior Researcher,  
Vice-Rector for Educational and Spiritual Affairs

University of Geological Sciences,  
Tashkent, Uzbekistan

m.pirnazarov@uzgeouniver.uz

### **Бехруз Б. Оганиёзов**

Магистр наук о Земле, независимый исследователь (PhD)

Университет геологических наук Республики Узбекистан,  
Ташкент, Узбекистан

<https://orcid.org/0009-0004-0849-9536>  
behruzoga@gmail.com

### **Маджид М. Пирназаров**

Доктор геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник,  
проректор по учебно-воспитательной работе

Университет геологических наук Республики Узбекистан,  
Ташкент, Узбекистан

m.pirnazarov@uzgeouniver.uz

---

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

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

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

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

Статья поступила в редакцию 27.02.2025  
Одобрена после рецензирования 25.04.2025  
Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 27.02.2025  
Approved after reviewing 25.04.2025  
Accepted for publication 20.06.2025

Научная статья

УДК 549.211.02:553.81.068.5(68)

doi:10.52349/0869-7892\_2025\_102\_139-147

**Ключевые слова:** алмазы, россыпи, кимберлитовые трубки, Южная Африка, азот, углерод

**Для цитирования:** Малых О. Н. Определение коренных источников алмазоносных россыпей по соотношению примесей азота и изотопного состава углерода в алмазах Южной Африки // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 139–147. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_139-147](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_139-147)

Original article

UDC 549.211.02:553.81.068.5(68)

doi:10.52349/0869-7892\_2025\_102\_139-147

**Keywords:** diamonds, placers, kimberlite pipes, South Africa, nitrogen, carbon

**For citation:** Malykh O. N. Determination of diamondiferous placer primary sources by the ratio of nitrogen traces and carbon isotope composition in South African diamonds. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (2): 139–147. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2025\\_102\\_139-147](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_139-147)



© О. Н. Малых, 2025

## Определение коренных источников алмазоносных россыпей по соотношению примесей азота и изотопного состава углерода в алмазах Южной Африки

О. Н. Малых

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,  
Oleg\_Malykh@karpinskyinstitute.ru

**Аннотация.** В Южной Африке расположены как коренные источники алмазов (кимберлитовые трубки), так и россыпи, образовавшиеся при денудации этих трубок. При этом спектр россыпей здесь крайне разнообразен: от аллювиальных до прибрежно-морских, морских и дефляционных. В статье на основе анализа содержания примесей азота и изотопного состава углерода в алмазах предпринята попытка определения коренных источников россыпных алмазов региона. Хотя исследователи (как зарубежные, так и российские) ранее приводили данные по этим характеристикам, анализ по установлению связи между алмазами из россыпей и трубок по указанным параметрам не проводился. В работе сделана первая попытка в этом направлении. Такой способ сопоставления алмазов из россыпей и их источников в дальнейшем нуждается в проработке: использовании более широкого спектра данных как по данному району, так и проверке на алмазных коренных и россыпных объектах других регионов.

## Determination of diamondiferous placer primary sources by the ratio of nitrogen traces and carbon isotope composition in South African diamonds

O. N. Malykh

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,  
Saint Petersburg, Russia, Oleg\_Malykh@karpinskyinstitute.ru

**Abstract.** South Africa locates both primary sources of diamonds (kimberlite pipes) and the pipe washout induced placers. Notably, the range of the region's placers is incredibly wide: from alluvial to coastal-marine, marine, and wind-formed. In the paper, the author attempted to analyze nitrogen traces content and carbon isotope composition in the region's diamonds to develop a new method for determining primary sources of the region's placer diamonds. Although researchers (both foreign and Russian ones) characterized the diamond properties, they did not analyze connections between placer diamonds and pipes, using these parameters. The current paper is novel in this respect. This method of comparing placer diamonds and their sources requires further development by applying a wider data range both for this region and verifying it on primary and placer diamond sites in other regions.

## ВВЕДЕНИЕ

Поиск связи между коренными и россыпными месторождениями алмазов является актуальной задачей, поскольку позволяет установить источники россыпей, уточнить историю их развития, направления и перспективы разработки этих месторождений.

Работами не одного поколения советских ученых-алмазников с середины XX в. по настоящее время на основе изучения типоморфных, оптических свойств алмазов из кимберлитов и россыпей Якутии была подтверждена корреляция между содержанием определенных микродефектов в алмазах и физическими условиями их образования (давление, температура) [1]. По этим свойствам оказалось возможным идентифицировать принадлежность не только алмазов к отдельным месторождениям, но и россыпей к конкретным коренным источникам.

Одновременно с изучением типоморфизма алмазов в СССР шла статистическая обработка их свойств, поиск связи между коренными трубками и россыпями. В 1980-е гг. В. К. Соболевым и Ю. А. Клюевым была предпринята попытка с помощью факторного анализа сравнить алмазы из россыпей и трубок европейской части СССР по азотным примесям и плейтлетс [2; 3]. Уже в начале нашего века Г. К. Хачатрян [4] с помощью статистического анализа попыталась сопоставить алмазы из коренных и россыпных алмазов различных регионов мира. В ее работах исследовались основные характеристики оптически

активных центров (форм азота и водорода) алмазов. В настоящее время автор статьи использовал кластерный анализ концентрации структурной примеси азота в алмазах Южной Африки с целью сопоставления россыпей и коренных источников региона [5]. В отзывах на работу было много критических замечаний о малой достоверности использования в исследовании данной характеристики алмазов. Для более глубокого изучения проблемы в исследовании были задействованы дополнительные параметры: суммарное содержание примеси азота ( $N_{tot}$ ) и изотопный состав углерода ( $\delta^{13}C$ ).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При анализе исходных данных использовались сведения из статей Р. Deines 1980–1990 гг. [6–9]. Анализировались характеристики алмазов из коренных алмазоносных трубок: Премьер, Коффифонтейн, Ягерсфонтейн и Финч. Привязка их приведена на рис. 1, характеристики — в таблице.

Как видно из таблицы, октаэдры и додекаэдры составляют незначительную часть выборки по каждой трубке. Остальная часть выборки была представлена обломками, трехгранниками, агрегатами, бесформенными кристаллами и сплюснутыми додекаэдрами. В целом такое распределение кристаллографических форм алмазов в трубках Южной Африки подтверждает сведения из российских

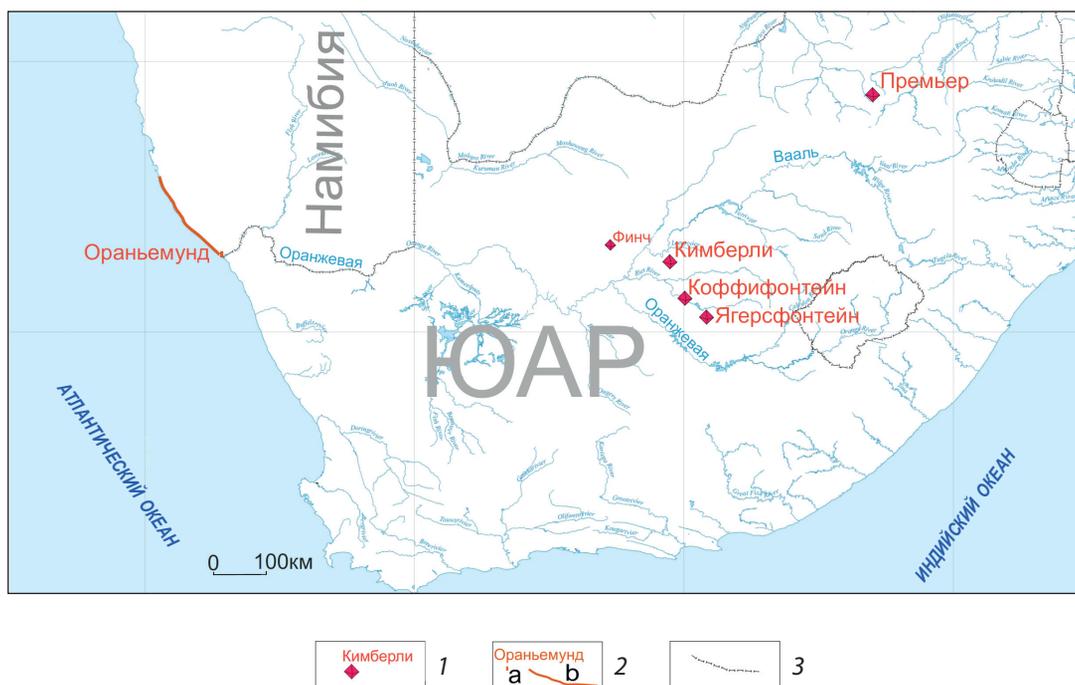


Рис. 1. Привязка алмазоносных объектов

1 — алмазы из промышленных трубок; 2 — алмазы, отобранные из россыпей: *a* — внемасштабная, в районе п. Оранжемунд, *b* — прибрежные и морские россыпи Намибии; 3 — государственные границы

Fig. 1. Linking of diamondiferous objects

1 — diamonds from commercial pipes; 2 — diamonds from placers: *a* — out-of-scale, from the Oranjemund region, *b* — coastal and marine placers of Namibia; 3 — state borders

**Суммарное содержание алмазов, количество октаэдров и додекаэдров в выборках из продуктивных трубок Южной Африки**

Total diamond content, number of octahedra and dodecahedra in commercial pipe samples in South Africa

Кимберлитовая трубка	Количество октаэдров, шт.	Количество додекаэдров, шт.	Общее количество алмазов, шт.
Коффионтейн	7	11	62
Премьер	9	30	66
Финч	2	22	48
Ягерсфонтейн	14	5	68

источников [10; 11], где в трубке Премьер октаэдры составляют 6 %, а ромбододекаэдры — 17 % от общего числа кристаллов в трубке.

Россыпные алмазы были отобраны из прибрежных и морских россыпей Намибии в полосе от п. Оранжемунд до зал. Элизабет (длиной более 200 км), а также из аллювиальных россыпей Намибии (р. Оранжевая) в районе п. Оранжемунд (рис. 1). Всего было отобрано 89 алмазов. Из них 32 содержали включения перидотитового генезиса, 44 — эклогитового [12; 13]. К сожалению, данных о форме россыпных алмазов по региону в статьях не приведено.

По данным зарубежных исследователей, форма кристаллов синтетических алмазов зависит от физических условий их формирования [14] (рис. 2).

Согласно данным отечественных исследователей, этот вывод также верен и для природных алмазов [1]. Учитывая, что алмазы октаэдрической и додекаэдрической форм соответствуют определенным областям на P, T-диаграмме (рис. 2), автор попытался выделить для каждой разновидности кристаллов из конкретной промышленной трубки более узкий, характерный диапазон на диаграмме  $N_{tot}/\delta^{13}C$ , а затем уже сравнить их на данной диаграмме с характеристиками алмазов из россыпей.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Были составлены диаграммы в системе координат  $N_{tot}/\delta^{13}C$  для октаэдров и додекаэдров коренных

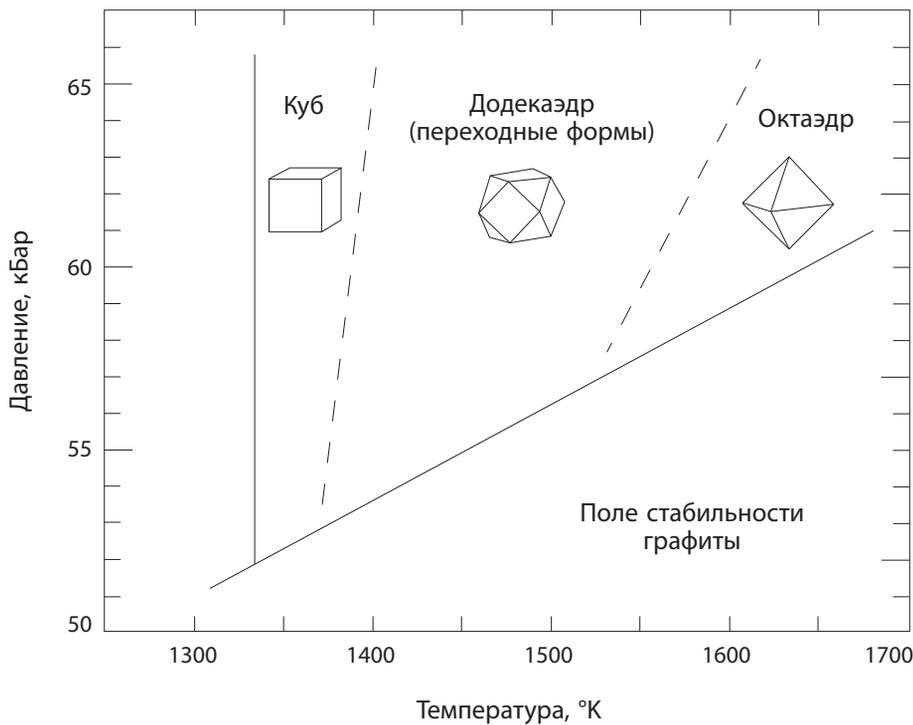


Рис. 2. Диаграмма давление–температура для полей роста различных форм синтетических алмазов

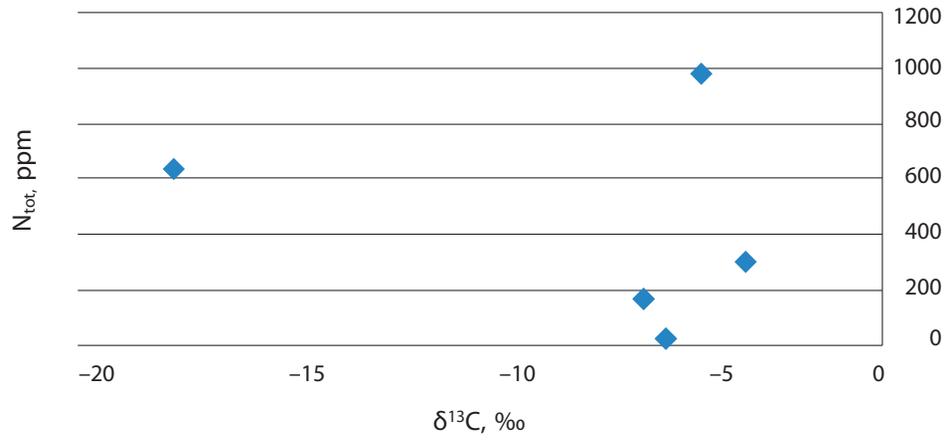
Источник: по [14]

Fig. 2. Pressure–temperature diagram for growth fields of synthetic diamonds varied in shape

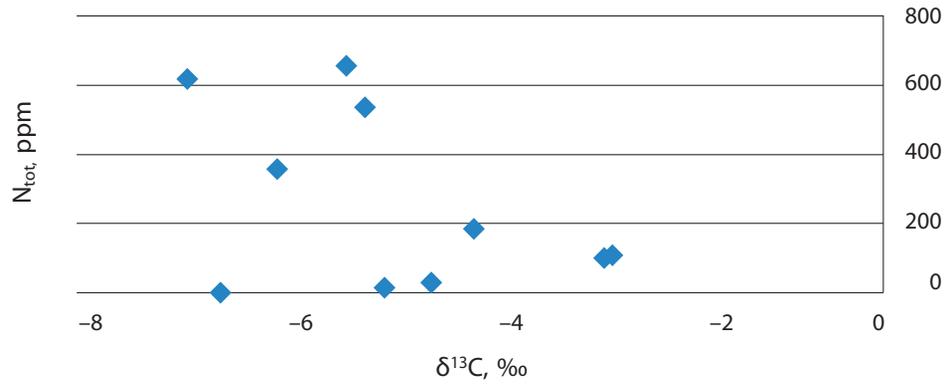
Source: from [14]

### Доекаэдры

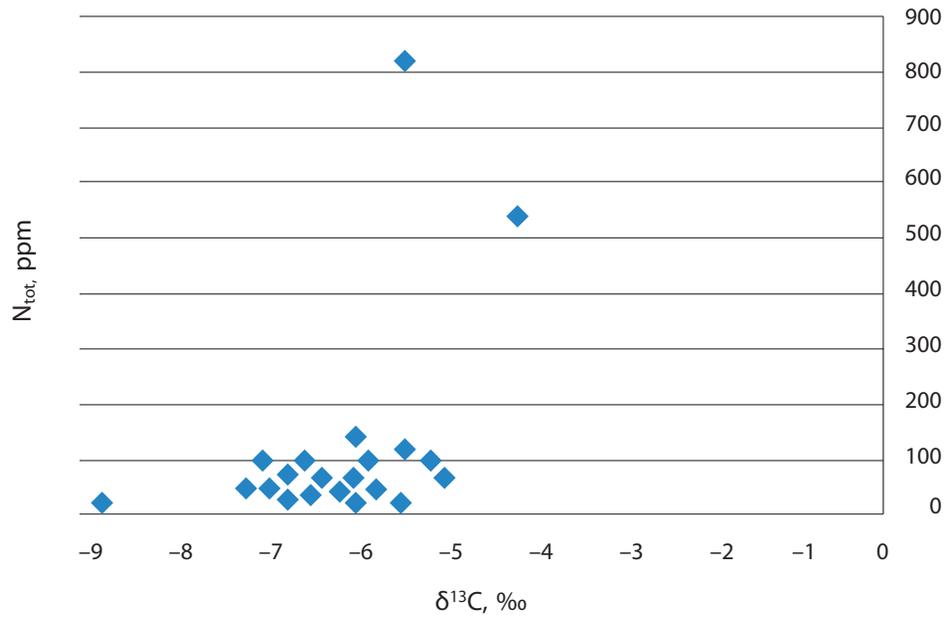
Ягерсфонтейн



Коффифонтейн



Финч



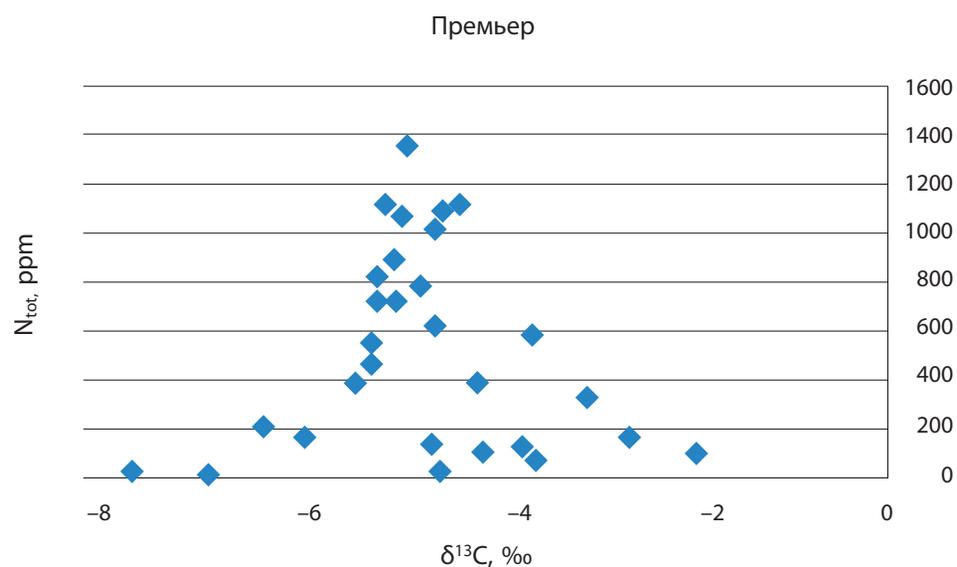
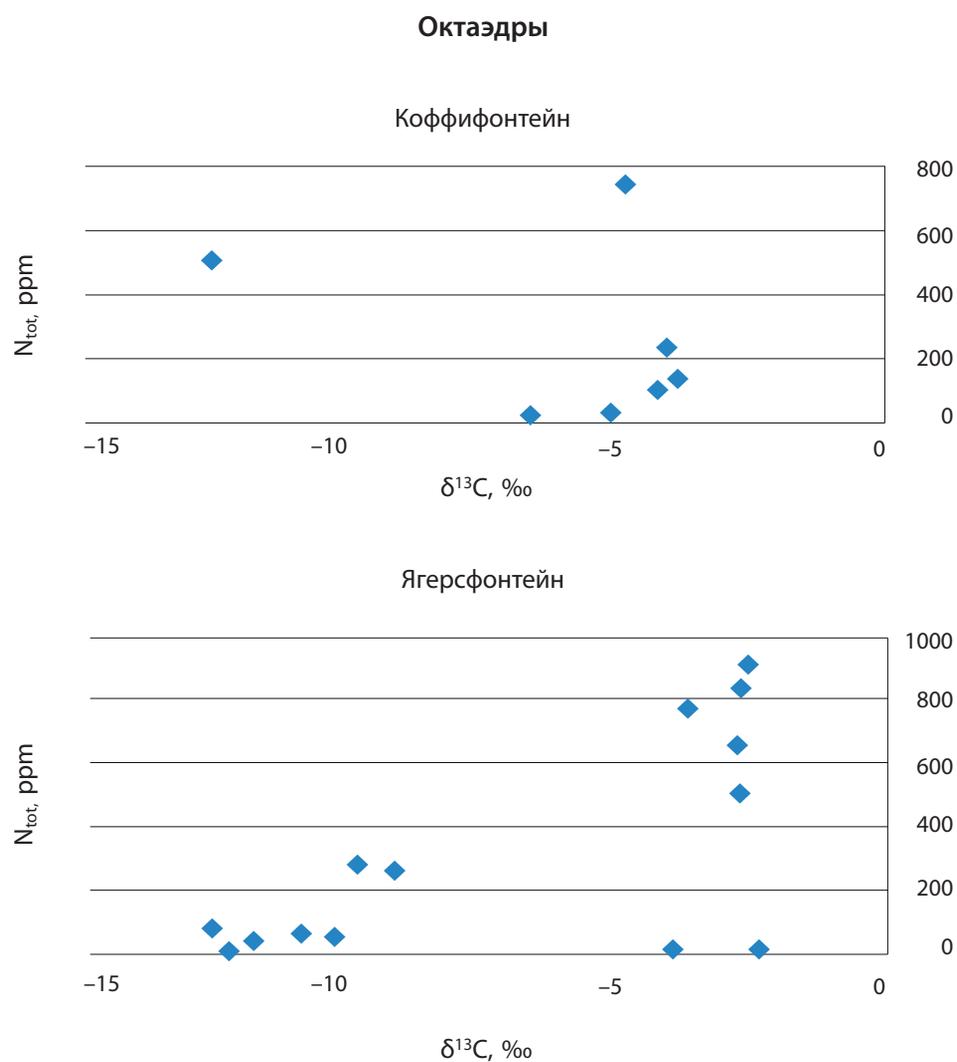


Рис. 3. Диаграммы в координатах  $N_{\text{tot}}/\delta^{13}\text{C}$  по алмазам додекаэдрической формы промышленных кимберлитов Южной Африки

Fig. 3. Diagrams in  $N_{\text{tot}}/\delta^{13}\text{C}$  coordinates for dodecahedral diamonds from commercial kimberlites in South Africa



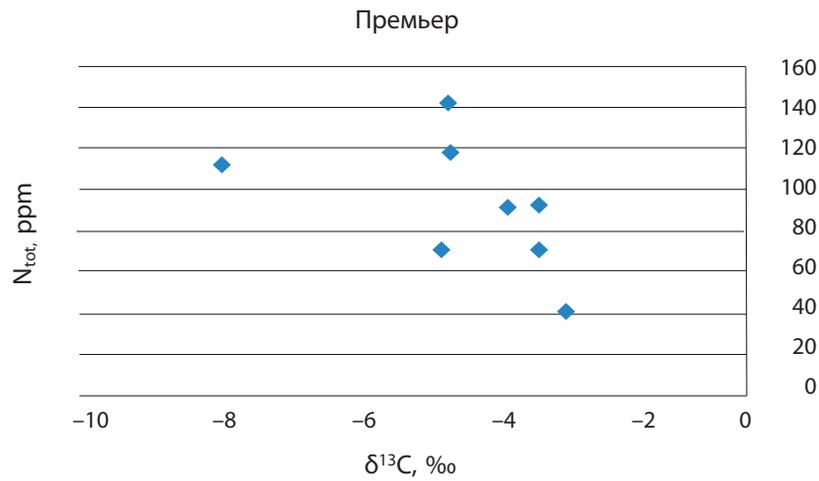


Рис. 4. Диаграммы в координатах  $N_{tot}/\delta^{13}C$  по алмазам октаэдрической формы промышленных кимберлитов Южной Африки  
Источник: по [7; 8]

Fig. 4. Diagrams in  $N_{tot}/\delta^{13}C$  coordinates for octahedral diamonds from commercial kimberlites in South Africa  
Source: from [7; 8]

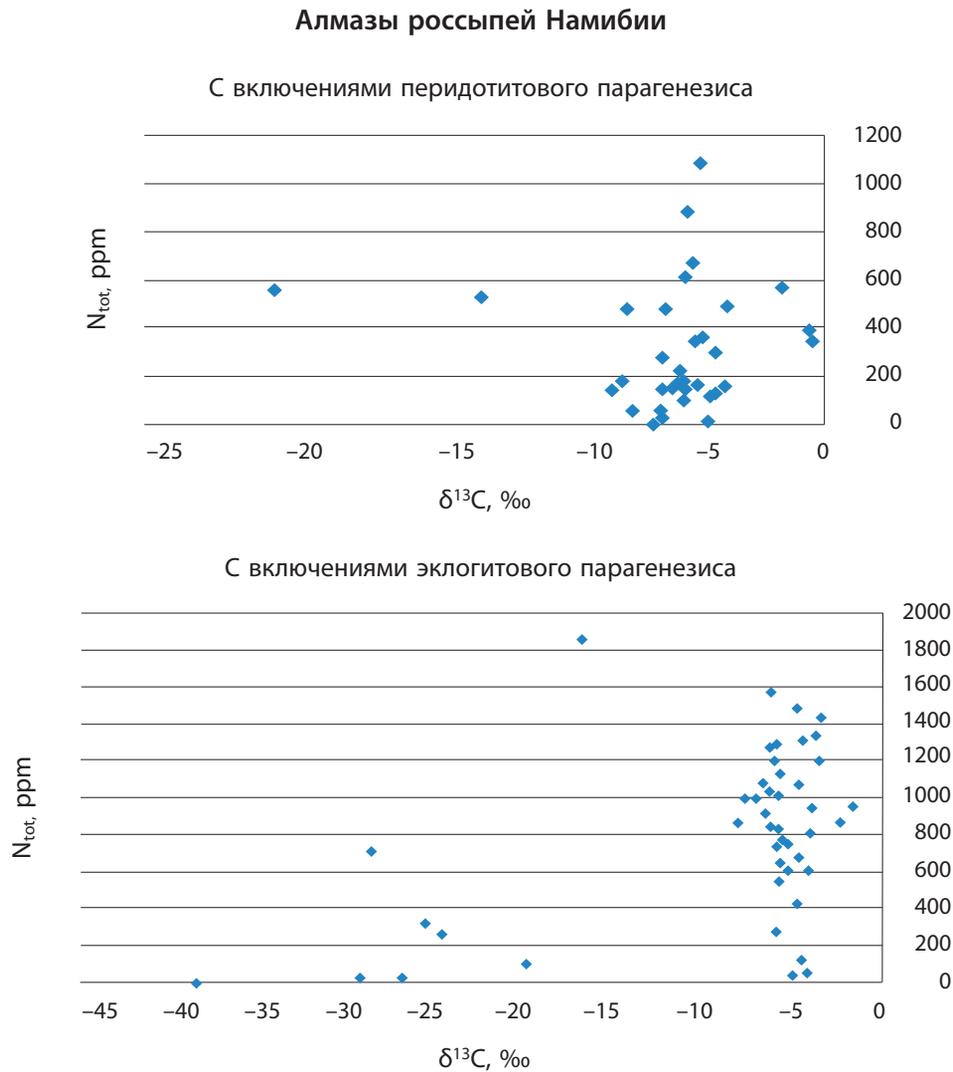


Рис. 5. Диаграммы в координатах  $N_{tot}/\delta^{13}C$  по различным парагенезисам включений из алмазов промышленных россыпей Намибии

Fig. 5. Diagrams in  $N_{tot}/\delta^{13}C$  coordinates for various parageneses of inclusions in diamonds from commercial placers in Namibia

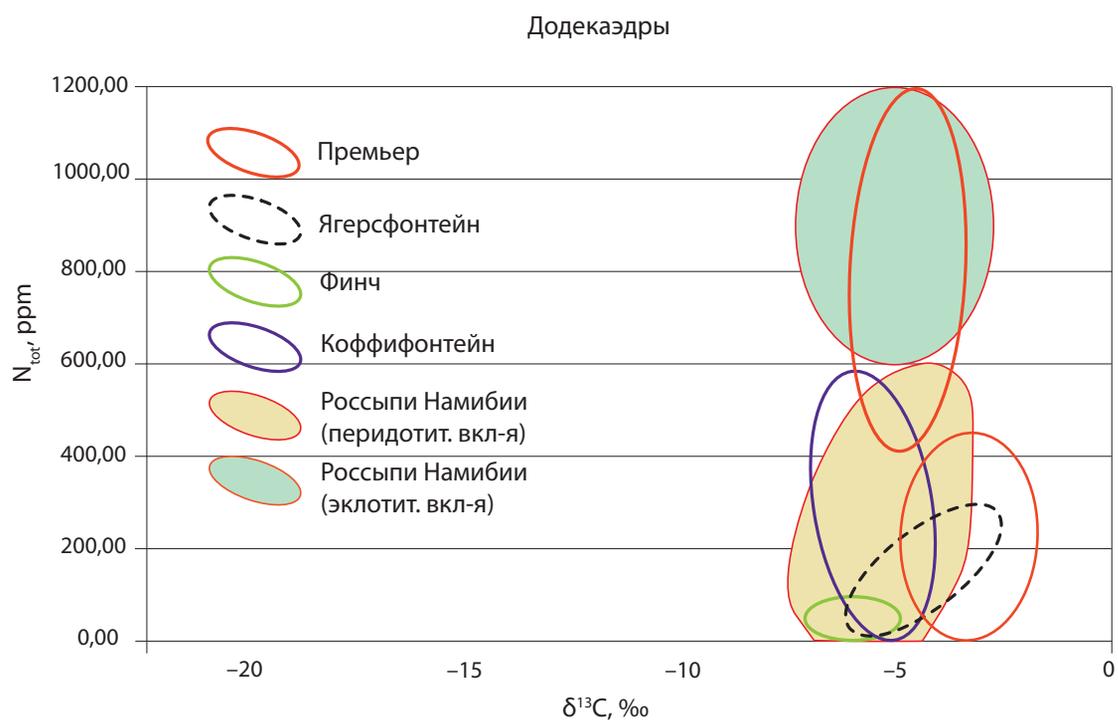


Рис. 6. Диаграммы в координатах  $N_{tot}/\delta^{13}C$  для додекаэдрических алмазов из промышленных трубок Южной Африки и алмазов из промышленных россыпей Намибии

Fig. 6. Diagrams in  $N_{tot}/\delta^{13}C$  coordinates for dodecahedral diamonds from commercial pipes in South Africa and diamonds from commercial placers in Namibia

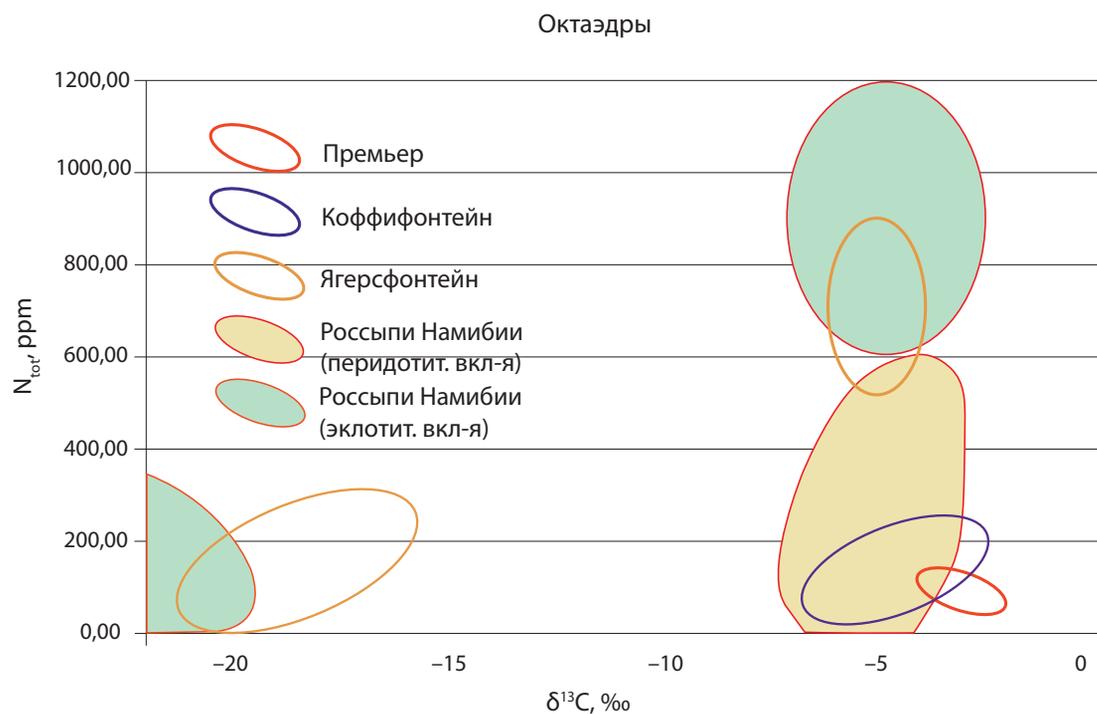


Рис. 7. Диаграммы в координатах  $N_{tot}/\delta^{13}C$  для октаэдрических алмазов из промышленных трубок Южной Африки и алмазов из промышленных россыпей Намибии

Fig. 7. Diagrams in  $N_{tot}/\delta^{13}C$  coordinates for octahedral diamonds from commercial pipes of South Africa and diamonds from commercial placers of Namibia

трубок Южной Африки, а также для россыпных алмазов с включениями эклогитового и перидотитового парагенезиса. Получились соответствующие графики (рис. 3–5).

Для удобства сопоставления области наибольшего сгущения на данных графиках были обведены эллипсами. Результаты представлены на рис. 6 и 7.

На рис. 6 видна очевидная сходимость характеристик россыпей и трубок. Возможно, несколько заметно отличается слабоазотистая группа трубки Премьер. Аналогичное сходство характеристик алмазов из россыпей Намибии и трубок Ягерсфонтейн, Кофффонтейн прослеживается на рис. 7.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе впервые проведено сопоставление соотношения содержаний примесей азота и изотопного состава углерода в алмазах из россыпей и коренных источников южноафриканского региона. Как видно из материалов (рис. 5, 6), определенные кристаллографические разности алмазов промышленных трубок Южной Африки на диаграмме  $N_{tot}/\delta^{13}C$  занимают довольно компактные области, очевидно, тонко характеризующие условия их образования. К сожалению, не удалось найти сведений о кристаллографических формах алмазов россыпей Намибии, участвующих в сопоставлении с коренными трубками. Тогда картина сопоставления была бы более достоверной.

В дальнейшем для развития методики исследований в этом направлении предполагается использовать больший массив данных и большее количество параметров. Необходимо сопоставить данные характеристики из россыпей и трубок других регионов. При наличии сведений по примесям ( $N_{tot}$ , NB и  $\delta^{13}C$ ) в алмазах региона можно попробовать построение трехмерных диаграмм.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. М. : Недра, 2003. 603 с.
2. Природные и синтетические алмазы / Г. Б. Бокий [и др.]. М. : Наука, 1986. 221 с.
3. Структурный типоморфизм северо-европейских алмазов / В. К. Соболев [и др.] // Доклады Академии наук СССР. 1983. Т. 269, № 1. С. 200–204.
4. Хачатрян Г. К. Азот и водород в алмазах мира как индикаторы их генезиса и критерии прогноза и поисков коренных алмазных месторождений : дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2016. 254 с.
5. Малых О. Н., Van der Westhuizen A. Кластерный анализ структурных примесей азота в алмазах Южной Африки: связь россыпей с коренными источниками // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 6. С. 7–17. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/6/3577>.
6. Appleyard C. M., Viljoen K. S., Dobbe R. A study of eclogitic diamonds and their inclusions from the Finsch kimberlite pipe, South Africa // *Lithos*. 2004. Vol. 77, nos. 1–4. P. 317–332. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.023>.
7. Deines P., Gurney J. J., Harris J. W. Associated chemical and carbon isotopic composition variations in diamonds from

Finsch and Premier kimberlite, South Africa // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984. Vol. 48, no. 2. P. 325–342. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90254-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90254-0).

8. Nitrogen and  $^{13}C$  content of Finsch and Premier diamonds and their implications / P. Deines [et al.] // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1989. Vol. 53, no. 6. P. 1367–1378. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(89\)90069-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(89)90069-0).

9. Deines P., Harris J. W., Gurney J. J. The carbon isotopic composition and nitrogen content of lithospheric and asthenospheric diamonds from the Jagersfontein and Koffiefontein kimberlite, South Africa // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991. Vol. 55, no. 9. P. 2615–2625. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(91\)90377-H](https://doi.org/10.1016/0016-7037(91)90377-H).

10. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Зуев В. М. История алмаза. М. : Недра, 1997. 601 с.

11. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. М. : Недра, 1998. 555 с.

12. Constraining diamond metasomatic growth using C- and N-stable isotopes: Examples from Namibia / P. Cartigny [et al.] // *Lithos*. 2004. Vol. 77, nos. 1–4. P. 359–373. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.03.024>.

13. Peridotitic diamonds from Namibia: Constraints on the composition and evolution of their mantle source / J. W. Harris [et al.] // *Lithos*. 2004. Vol. 77, nos. 1–4. P. 209–223. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.03.028>.

14. Tappert R., Tappert M. C. Diamonds in nature: A guide to rough diamonds. Heidelberg, Germany : Springer Berlin, 2011. 153 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12572-0>.

## REFERENCES

1. Zintchouk N. N., Koptil V. I. Typomorphism of the Siberian platform diamonds. Moscow: Nedra; 2003. 603 p. (In Russ.).
2. Natural and synthetic diamonds / G. B. Bokiya [et al.]. Moscow: Nauka; 1986. 221 p. (In Russ.).
3. Structural typomorphism of North European diamonds / V. K. Sobolev [et al.] // Reports of the USSR Academy of Sciences. 1983; 269 (1): 200–204. (In Russ.).
4. Khachatryan G. K. Nitrogen and hydrogen in the world's diamonds as indicators of their genesis and criteria for forecasting and searching for primary diamond deposits: PhD diss. (Geology and Mineralogy). Moscow; 2016. 254 p. (In Russ.).
5. Malykh O. N., Van der Westhuizen A. Cluster analysis of structural nitrogen impurities in Southern African diamonds: Placer relationship with kimberlite sources. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2022; 333 (6): 7–17. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/6/3577>. (In Russ.).
6. Appleyard C. M., Viljoen K. S., Dobbe R. A study of eclogitic diamonds and their inclusions from the Finsch kimberlite pipe, South Africa. *Lithos*. 2004; 77 (3–4): 317–332. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.023>.
7. Deines P., Gurney J. J., Harris J. W. Associated chemical and carbon isotopic composition variations in diamonds from Finsch and Premier kimberlite, South Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984; 48 (2): 325–342. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90254-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90254-0).
8. Nitrogen and  $^{13}C$  content of Finsch and Premier diamonds and their implications / P. Deines [et al.]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1989; 53 (6): 1367–1378. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(89\)90069-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(89)90069-0).
9. Deines P., Harris J. W., Gurney J. J. The carbon isotopic composition and nitrogen content of lithospheric and asthenospheric diamonds from the Jagersfontein and Koffiefontein kimberlite, South Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991; 55 (6): 2615–2625. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(91\)90377-H](https://doi.org/10.1016/0016-7037(91)90377-H).
10. Kharkiv A. D., Zinchuk N. N., Zuev V. M. The history of diamond. Moscow: Nedra; 1997. 601 p. (In Russ.).
11. Kharkiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. Diamond primary deposits of the world. Moscow: Nedra; 1998. 555 p. (In Russ.).

12. Constraining diamond metasomatic growth using C- and N-stable isotopes: Examples from Namibia / P. Cartigny [et al.], *Lithos*. 2004; 77 (1–4): 359–373. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.03.024>.

13. Peridotitic diamonds from Namibia: Constraints on the composition and evolution of their mantle source /

J. W. Harris [et al.], *Lithos*. 2004; 77 (1–4): 209–223. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.03.028>.

14. Tappert R., Tappert M. C. *Diamonds in nature: A guide to rough diamonds*. Heidelberg, Germany: Springer Berlin; 2011. 153 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12572-0>.

---

## Олег Николаевич Мальных

Ведущий инженер

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

<https://orcid.org/0009-0007-8981-3436>

SPIN-код РИНЦ 7277-9535

Oleg\_Malykh@karpinskyinstitute.ru

## Oleg N. Malykh

Leading Engineer

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

<https://orcid.org/0009-0007-8981-3436>

RSCI SPIN-code 7277-9535

Oleg\_Malykh@karpinskyinstitute.ru

---

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** the author declares no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 21.10.2024  
Одобрена после рецензирования 27.12.2024  
Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 21.10.2024  
Approved after reviewing 27.12.2024  
Accepted for publication 20.06.2025

## 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.elpub.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 (СМУК); 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 желательного зарубежного.

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 выпуск

## Приглашаем авторов и рецензентов к сотрудничеству

---

**Издательство ФГБУ «Институт Карпинского»** специализируется на выпуске научной, учебной и художественной литературы. Издаются как книги российских авторов, так и переводная литература. Преобладают научные издания. Книги выходят в свет в бумажном и электронном видах.

Издательство поддерживает распространение литературы на территории России, стран ближнего и дальнего зарубежья. В прайс-листе издательства более 400 наименований бумажных книг.

Издательство активно пополняет библиотечные фонды, сотрудничая напрямую с библиотеками разных уровней: РНБ, ВГБ и др.

Фирменная торговля осуществляется через «Книжный салон Карпинского» Санкт-Петербургской картографической фабрики. Торговая точка расположена в центре Васильевского острова по адресу Средний пр., д. 72. Основной ассортимент магазина составляет продукция Картографической фабрики — книги, журналы, а также сувенирная продукция с символикой ФГБУ «Институт Карпинского».

Для продвижения имиджа ФГБУ «Институт Карпинского» и популяризации издаваемой книжно-журнальной и сувенирной продукции издательство участвует в семинарах и выставках.

В числе наиболее успешных и популярных мероприятий — ежегодный «Международный книжный салон», проходящий на Дворцовой площади. Издательство традиционно принимает в нем участие, представляя на своем стенде выпущенную литературу и символику института.

### НЕПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ

Издательство выпускает тематические атласы, художественную литературу и продолжающиеся серии книг:

- «Уникальные геологические памятники России»;
- монографии ФГБУ «Институт Карпинского»;
- информационные бюллетени ФГБУ «Институт Карпинского»;
- практические руководства ФГБУ «Институт Карпинского»;
- «Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий».

По итогам международных и российских мероприятий, проводимых в ФГБУ «Институт Карпинского», ежегодно издаются сборники тезисов и докладов, материалы конференций, специальные выпуски и дайджесты. Все материалы индексируются в РИНЦ.

### НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ»

Журнал издается с 1993 года и выходит ежеквартально (четыре раза в год) в печатном и электронном видах с полноцветными рисунками на русском и английском языках.

В журнале публикуются научные статьи, рецензии, информационные сообщения и пр. по следующим научным специальностям ВАК (геолого-минералогические науки):

- 1.6.1. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика.
- 1.6.2. Палеонтология и стратиграфия.
- 1.6.3. Петрология, вулканология.
- 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.
- 1.6.5. Литология.
- 1.6.9. Геофизика.
- 1.6.10. Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.
- 1.6.11. Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений.

Статьи для публикации, оформленные согласно руководству для авторов, принимаются через электронную форму подачи статей на сайте журнала.

Журнал индексируется в РИНЦ (eLIBRARY ID: 9029) и включен в перечень ВАК РФ («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»).

Размещен в электронной базе данных GeoRef и в электронно-библиотечной системе КиберЛенинка. Подана заявка на вступление в RSCI.

Каждой статье присваивается индекс DOI (префикс издательства — 10.52349).

Полнотекстовый архив журнала «Региональная геология и металлогения» (2013 — текущий год) размещен в открытом доступе на ресурсах: ResearchGate, Academia.edu, Google Scholar.

REGIONAL GEOLOGY AND METALLOGENY

# РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Российский научный журнал | Russian scholarly journal | Том 32 | № 2 (102)

«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 мирагенических, стратиграфических, палеонтологических, геохимических и других специализированных исследований.

*Учредитель и издатель:*

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 (К2)

— индексируется в Crossref, РИНЦ

## ПОДПИСКА В ОТДЕЛЕНИЯХ СВЯЗИ

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

По вопросам приобретения печатного номера журнала обращаться в издательство по тел.: +7 (812) 328-90-90, доб. 2323

Regional Geology  
and Metallogeny  
ISSN 0869-7892



9 770869 789200