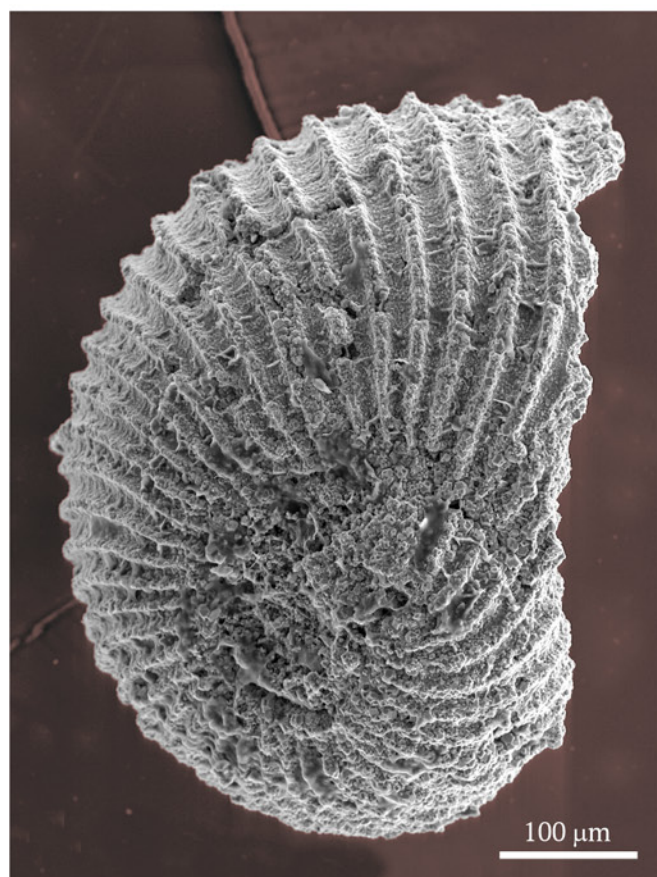
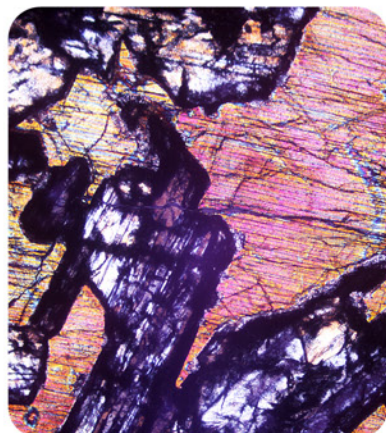


ISSN 2712-7761

№ 4 (352), апрель 2024



# Вестник геонаук





*Vestnik of Geosciences*  
**Вестник геонаук**

Апрель  
April  
2024,  
№ 4 (352)

Журнал издается под научно-методическим руководством Отделения наук о Земле РАН  
The journal is published under the research and methodological guidance of the RAS Department of Earth Sciences

**Главный редактор** *А. М. Асхабов*

**Зам. главного редактора** *И. Н. Бурцев*

**Зам. главного редактора** *О. Б. Котова*

**Ответственный секретарь** *И. В. Козырева*

**Chief Editor** *A. M. Askhabov*

**Deputy Chief Editor** *I. N. Burtsev*

**Deputy Chief Editor** *O. B. Kotova*

**Executive Secretary** *I. V. Kozyreva*

**Редакционный совет**

- Л. Н. Андрешчева*, Сыктывкар, Россия  
*А. И. Антошкина*, Сыктывкар, Россия  
*Т. М. Безносова*, Сыктывкар, Россия  
*М. А. Богдасаров*, Брест, Беларусь  
*М. А. Т. М. Брокманс*, Тронхейм, Норвегия  
*Д. А. Бушнев*, Сыктывкар, Россия  
*Ю. Л. Войтеховский*, Апатиты, Россия  
*А. Д. Гвишиани*, Москва, Россия  
*В. А. Жемчугова*, Москва, Россия  
*А. В. Журавлев*, Сыктывкар, Россия  
*В. А. Каширцев*, Новосибирск, Россия  
*М. Комак*, Любляна, Словения  
*С. В. Кривовичев*, Санкт-Петербург, Россия  
*С. К. Кузнецов*, Сыктывкар, Россия  
*М. Мартинс*, Ору-Прету, Бразилия  
*Т. П. Майорова*, Сыктывкар, Россия  
*П. Мянник*, Таллин, Эстония  
*А. И. Николаев*, Апатиты, Россия  
*Б. М. Осовецкий*, Пермь, Россия  
*Ю. Ф. Патраков*, Кемерово, Россия  
*И. В. Пеков*, Москва, Россия  
*Д. В. Пономарев*, Сыктывкар, Россия  
*В. Н. Пучков*, Екатеринбург, Россия  
*Д. Ю. Пуцаровский*, Москва, Россия  
*А. М. Пыстин*, Сыктывкар, Россия  
*Ш. Сан*, Мянъян, Китай  
*К. М. Соджа*, Гамильтон, Нью-Йорк, США  
*О. В. Удоратина*, Сыктывкар, Россия  
*М. А. Федонкин*, Москва, Россия  
*А. Г. Шеломенцев*, Владивосток, Россия

**Технический редактор** *Г. Н. Каблис*

**Заведующий редакцией** *Т. А. Некучаева*

**Editorial Board**

- L. N. Andreicheva*, Syktyvkar, Russia  
*A. I. Antoshkina*, Syktyvkar, Russia  
*T. M. Beznosova*, Syktyvkar, Russia  
*M. A. Bogdasarov*, Brest, Belarus  
*M. A. T. M. Broeckmans*, Trondheim, Norway  
*D. A. Bushnev*, Syktyvkar, Russia  
*Yu. L. Voytekhovskiy*, Apatity, Russia  
*A. D. Gvishiani*, Moscow, Russia  
*V. A. Zhemchugova*, Moscow, Russia  
*A. V. Zhuravlev*, Syktyvkar, Russia  
*V. A. Kashirtcev*, Novosibirsk, Russia  
*M. Komac*, Ljubljana, Slovenia  
*S. V. Krivovichev*, St. Petersburg, Russia  
*S. K. Kuznetsov*, Syktyvkar, Russia  
*M. Martins*, Ouro Preto, Brazil  
*T. P. Mayorova*, Syktyvkar, Russia  
*P. Männik*, Tallinn, Estonia  
*A. I. Nikolaev*, Apatity, Russia  
*B. V. Osovetsky*, Perm, Russia  
*Yu. F. Patrakov*, Kemerovo, Russia  
*I. V. Pekov*, Moscow, Russia  
*D. V. Ponomarev*, Syktyvkar, Russia  
*V. N. Puchkov*, Yekaterinburg, Russia  
*D. Yu. Pushcharovsky*, Moscow, Russia  
*A. M. Pystin*, Syktyvkar, Russia  
*Sh. Sun*, Mianyang, China  
*C. M. Soja*, Hamilton, NY, USA  
*O. V. Udoratina*, Syktyvkar, Russia  
*M. A. Fedonkin*, Moscow, Russia  
*A. G. Shelomentsev*, Vladivostok, Russia

**Technical Editor** *G. N. Kablis*

**Managing Editor** *T. A. Nekuchaeva*

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

Выходит ежемесячно. Основан в 1995 году  
академиком Н. П. Юшкиным.

**Предыдущее название:**

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Пятилетний импакт-фактор  
РИНЦ журнала (2022) — 0.385



**SCIENTIFIC JOURNAL**

Monthly issued. Founded in 1995  
by Academician N. P. Yushkin.

**Former title:**

Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS

Five-year RSCI  
impact factor (2022) — 0.385

**Содержание****Content****Научные статьи****Scientific articles**

Минералого-геохимический анализ металлических украшений погребения № 59 Кокпомьягского могильника вымской культуры перми вычегодской XI—XIV вв. <i>В. И. Силаев, Э. А. Савельева, В. Н. Филиппов, А. Ф. Хазов .. 3</i>	Mineralogical and geochemical analysis of metal jewelry from burial 59 of Kokpomyag burial ground of Vym culture in Vycheгда Perm of the 11th–14th centuries <i>V. I. Silaev, E. A. Savelyeva, V. N. Filippov, A. F. Khazov .....3</i>
Литологическая характеристика колганской свиты юго-западной части Восточно-Оренбургского сводового поднятия <i>Н. С. Сагдеева .....21</i>	Lithological characteristics of the Kolgan formation of the south-western part of the East Orenburg arch uplift <i>N. S. Sagdeeva .....21</i>
Концентрационные потоки. 230 лет в кристаллогенетической повестке <i>А. М. Асхабов .....27</i>	Concentration flows. 230 years in the crystallogenic agenda <i>A. M. Askhabov .....27</i>
Из опыта преподавания. XIV. О разнообразии тетраэдров <i>Ю. Л. Войтеховский.....34</i>	From teaching experience. XIV. On the variety of tetrahedrons <i>Yu. L. Voytekhovsky.....34</i>

**Хроника, события, факты. История науки****Chronicle, events, facts. History of Science**

XVIII Геологический съезд Республики Коми.....38	The 18th Geological Congress of the Komi Republic .....38
Секции 1, 2, 3 .....41	Sections 1, 2, 3 .....41
• Региональная геология, тектоника, геодинамика	• Regional geology, tectonics, geodynamics
• Петрология, магматизм, геохронология	• Petrology, magmatism, geochronology
• Природные и техногенные геосистемы	• Natural and technogenic systems
Секции 4, 5, 6 .....42	Sections 4, 5, 6 .....42
• Литология и геохимия	• Lithology and geochemistry
• Палеонтология и стратиграфия	• Paleontology and stratigraphy
• Цифровые технологии и методы моделирования в геологии и горном деле	• Digital technologies and modelling methods in geology and mining
Секция 7 .....44	Section 7 .....44
• Геология нефти и газа	• Petroleum geology
Секции 8, 9 .....47	Sections 8, 9 .....47
• Месторождения стратегического и экономически важного минерального сырья	• Deposits of strategically and economically important mineral raw
• Минералогия и минерагения	• Mineralogy and minerageny
Секция 10 .....48	Section 10 .....48
• Новые технологии добычи и переработки минерального сырья	• New technologies of extraction and processing of mineral raw
Секция 11 .....50	Section 11 .....50
• История геологических исследований. Геологическое наследие. Геологическое образование	• History of geological studies. Geological heritage. Geological education
Новые издания / New publications .....51	New publications .....51

Правила  
оформления  
статей



Vestnik  
article  
Formatting



## Минералого-геохимический анализ металлических украшений погребения № 59 Кокпомьягского могильника вымской культуры перми вычегодской\* XI–XIV вв.

В. И. Силаев<sup>1</sup>, Э. А. Савельева<sup>2</sup>, В. Н. Филиппов<sup>1</sup>, А. Ф. Хазов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; [silaev@geo.komisc.ru](mailto:silaev@geo.komisc.ru), [akhazov@geo.komisc.ru](mailto:akhazov@geo.komisc.ru)

<sup>2</sup>Институт языка, литературы и истории ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; [eleonorasav@yandex.ru](mailto:eleonorasav@yandex.ru)

Статья посвящена археолого-минералогическому анализу металлических изделий погребения № 59 Кокпомьягского могильника вымской культуры перми вычегодской, датируемого серединой XII – первой половиной XIII в. Определены хронологические рамки погребения, дано описание погребального инвентаря, выделены импортные серебряные украшения из Пермского Прикамья и Волжской Болгарии. С использованием аналитической сканирующей электронной микроскопии детально исследованы 13 изделий медного, бронзового, латунного и серебряного состава, фазовый и химический состав предметов. Итоги проведенных исследований свидетельствуют о владении литейщиками перми вычегодской не только технологией бронзолитейного производства, но и ювелирного серебрения.

**Ключевые слова:** археоминералогия, Кокпомьягский могильник, пермь вычегодская, бронзовые и серебряные украшения

## Mineralogical and geochemical analysis of metal jewelry from burial 59 of Kokpomuyag burial ground of Vym culture in Vychehda Perm of the 11th–14th centuries

V. I. Silaev<sup>1</sup>, E. A. Savelyeva<sup>2</sup>, V. N. Filippov<sup>1</sup>, A. F. Khazov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

<sup>2</sup>Institute of Language, Literature and History FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The article is devoted to the archaeological and mineralogical analysis of metal products from burial No. 59 from the Kokpomuyag burial ground of the Vym culture in Vychehda Permian, dating from the mid-12th to the first half of the 13th century. The chronological framework of the burial is determined, a description of the grave goods is given, and imported silver jewelry from the Perm Kama region and Volga Bulgaria is found. Using analytical SEM, 13 artifacts of copper, bronze, brass and silver composition, the phase and chemical composition of the objects have been studied in detail. The results of the research indicate that Perm foundry workers from Vychehda possessed not only the technology of bronze foundry production, but also silver jewelry making.

**Keywords:** archaeomineralogy, Kokpomuyag burial ground, Vychehda Perm, bronze and silver jewelry

*Светлой памяти академика Н. П. Юшкина — первооткрывателя археолого-минералогического научного направления — посвящается.*

### Введение

В настоящее время активизировались и успешно проводятся мультидисциплинарные археолого-минералогические исследования продуктов бронзолитейного производства вычегодских пермян, предков коми-зырян, благодаря которым получены принципиально новые и важные данные. Особый интерес представляет впервые выявленная среди древностей перми вычегодской обособленная группа женских погребений на нижневыхогодском Чижтыгском могильнике, датируемая XIII в. (Астахова, Савельева, 2022). На основе проведенных исследований было установлено, что в это время у вычегодских пермян

бронзолитейное производство было сосредоточено в руках женщин-литейщиц (Савельева, 2023). Изделия из цветных металлов (меди, бронзы и латуни) отливались из лома украшений как привозного, так и местного происхождения. Основу сплавов составляла медь, примесями к которой выступали олово, свинец, цинк. Большинство проанализированных нами изделий состоит из разной степени оловянистой бронзы, для получения которой в качестве одного из источников использовались, вероятно, фрагменты медных котелков, ввозимых из Прикамья или Волжской Болгарии. Олово также было привозным в виде украшений или слитков.

\*В данном случае используется этноним — название народности непосредственных предков коми-зырян, обоснованное в научных работах Э. А. Савельевой.

**Для цитирования:** Силаев В. И., Савельева Э. А., Филиппов В. Н., Хазов А. Ф. Минералого-геохимический анализ металлических украшений погребения № 59 Кокпомьягского могильника вымской культуры перми вычегодской XI–XIV вв. // Вестник геонаук. 2024. 4(352). С. 3–20. DOI: 10.19110/geov.2024.4.1

**For citation:** Silaev V. I., Savelyeva E. A., Filippov V. N., Khazov A. F. Mineralogical and geochemical analysis of metal jewelry from burial 59 of Kokpomuyag burial ground of Vym culture in Vychehda Perm of the 11th–14th centuries. Vestnik of Geosciences, 2024, 4(352), pp. 3–20, doi: 10.19110/geov.2023.12.1

На Чезтыгском и Кокпомъгском могильниках были обнаружены также украшения из оловянисто-серебряного сплава. Серебро и олово в них были привозными. На Кокпомъгском могильнике в 33 погребениях, а также в межмогильном пространстве найдены серебряные бусы, височные кольца, круглые серебряные бляшки, привески, выполненные в филигранно-зерновой технике. На некоторых серебряных украшениях, использовавшихся в течение длительного времени, с обратной стороны были припаяны тонкие серебряные пластинки, чаще всего прямоугольной или трапециевидной формы, с загнутым петлеобразным окончанием, определяемые как держатели подвесок (пог. № 2, 11, 15, 61, 69, 115). У серебряной подвески из погребения № 115 Кокпомъгского могильника лицевая первичная сторона и обратная с припаянной позже пластинкой имеют принципиально разный химический состав. С лицевой стороны подвеска состоит из серебра высокой пробы, с обратной — из припойного сплава олова и серебра (Савельева и др., 2024). Серебро могло поступить из Волжской Болгарии (Талицкий, 1951) или Прикамья, где, как показали новейшие исследования, существовали многочисленные ремесленные центры, в которых мастера-ювелиры в совершенстве владели среброделием (Белавин, 2000). Изделия из сплава олова и серебра, найденные на Чезтыгском и Кокпомъгском могильниках, были, вероятно, изготовлены местными мастерами из привозных слитков или сломанных серебряных украшений, свидетельством чего являются слитки, сплески, капли серебра в погребениях № 61, 86, 217, а также в межмогильном пространстве.

Тем не менее до настоящего времени проблема развития бронзолитейного производства и среброделия остается в числе недостаточно разработанных для средневековой археологии Европейского Северо-Востока. Причина этого состоит в крайне недостаточном использовании археологами естественно-научных, в частности минералого-геохимических методов.

В рамках обозначенной проблемы значительный интерес представляет собой погребение № 59 Кокпомъгского могильника, насыщенное изделиями из цветных и благородных металлов, как привозными, так и изготовленными местными мастерами. Погребение размерами 245 × 125 × 67 см было совершено способом ингумации. Судя по набору украшений, отсутствию предметов вооружения, предметов, связанных с производственной деятельностью мужчин, погребение женское. В засыпи погребения были найдены многочисленные фрагменты лепного тонкостенного сосуда, украшенного по венчику насечкой, залегавшие в разных частях могильной ямы. Остальные предметы погребального инвентаря расположены на дне ямы, на уровне сохранившихся костей погребенного. К ним относятся (рис. 1): бронзовая шаровидная пуговица (1); бронзовый шаровидный бубенчик с линейной прорезью (2); бронзовый колокольчик с обломанным ушком (3); латунный грушевидный бубенчик с крестовидной прорезью (4); бронзовая конусовидная пронизка, украшенная тремя сдвоенными гладкими рельефными полосками в верхней ее части и в основании (5); бронзовые спиралевидные пронизки (6); зонные стеклянные и бронзовые кольцевидные бусины (7); серебряная желудевидная зернофилигранная бусина (8); серебряная зернофилигранная бочонковидная бусина от височного кольца, состоящая из двух полусфер, соединение которых осуществлено гладкой серебряной пластинкой; края бусины обрамлены филигранными рядами, на кольце бусина закреплена провололочкой (9); серебряное тонкопроволочное кольцо с филигранью (10); серебряная бляшка, использовавшаяся в качестве подвески, украшенная в центре пятью шариками зерни крупного размера на филигранных подложках, расположенных крестовидно и обрамленных рядами филигрании, на обратной стороне в центре с остатками припоя (11); фрагмент медного пластинчатого кольцевидного предмета, предположительно браслета (12); брон-

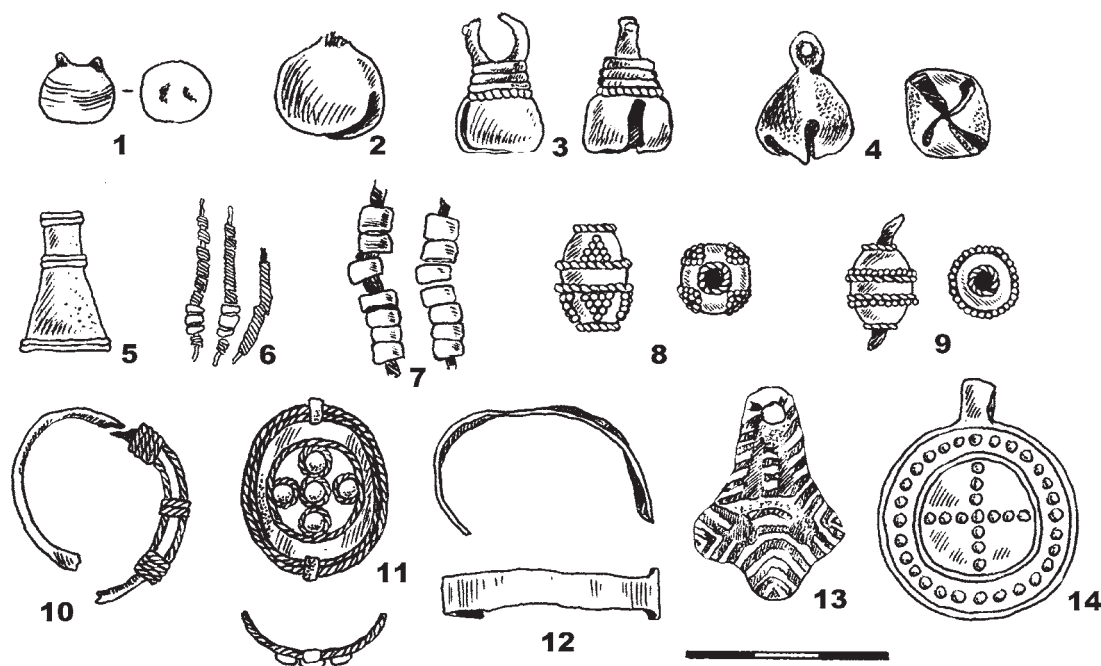


Рис. 1. Украшения из погребения № 59. Рисунки Д. В. Осиповой

Fig. 1. Jewelry from burial № 59. Drawings by D. V. Osipova



зовая лапчатая подвеска (13); бронзовая монетовидная штампованная подвеска с ушком для крепления, орнаментированная крестовидным узором в центре и ложной зернью по краю (14).

**Объекты и методы исследований**

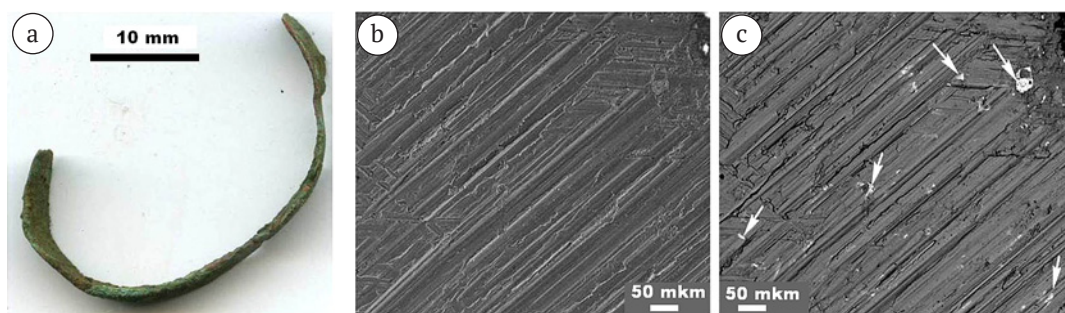
В качестве объектов исследований выступили 13 археологических образцов, состоящих из цветных металлов и серебра: фрагменты браслета, лапчатая подвеска, кольцевые бусины, шаровидная пуговица, спиралевидные и конусовидные пронизки, колокольчик с ушком, грушевидный бубенчик, зернофилигранная бляшка-подвеска, два фрагмента тонкопроволочного височного кольца с филигранью, бочонковидная бусина от височного кольца и желудевидная бусина с филигранью. Исследование проводилось в Центре коллективного пользования «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН с использованием аналитического сканирующего электронного микроскопа JSM-6400 Jeol, оборудованного энергодисперсионным и волновым спектрометрами. Погрешности измерений не превышали 0.3 мас. %. Перед анализом поверхность предметов тщательно зачищалась от пленок окисления и за-

грязнений. В некоторых случаях фазовый состав определялся методом рентгеновской дифрактометрии (DX2700BH, Китай).

**Результаты исследований**

**1. Фрагмент браслета** размером 64 × 5 × 1.5 мм (рис. 2, а), по составу почти нацело медный —  $Cu_{0.98-1}Sn_{0-0.02}$  (рис. 3, табл. 1). Под СЭМ характеризуется тонкопластинчатым строением (рис. 2, б, с), что является, вероятно, следствиемковки. Однородность нарушается множеством фазовых микровключений размером от 5—10 до 20—25 мкм, подразделяющихся по составу на свинцово-медно-мышьяково-сурьмяные  $Pb_{0.38-0.57}Cu_{0.15-0.25}Sn_{0-0.02}As_{0-0.19}Sb_{0.08-0.44}S_{0-0.03}$  и свинцово-медно-никелево-сульфоантимонидные —  $(Pb_{1.16-1.35}Cu_{0.74-1}Ni_{0-0.06})_{2.15-2.22}(Sb_{0.74-0.87}S_{0.13-0.16})$ .

**2. Лапчатая подвеска** размером 35 × 23 × 5 мм (рис. 4, а). По микростроению и составу довольно однородная (рис. 4, б, с; рис. 5), будучи отлитой из высокооловянистой разновидности бронзы (табл. 2) —  $Cu_{0.56-0.73}Sn_{0.24-0.3}Pb_{0.01-0.02}Ni_{0-0.01}Fe_{0-0.01}Si_{0-0.02}Al_{0-0.05}P_{0-0.07}$ . На поверхности обнаружена микропленка окисления  $PbO-CuO-SnO_2$ -состава (табл. 3).



**Рис. 2.** Внешний вид (а) и СЭМ-изображения внутреннего строения (б, с) медного браслета в режимах вторичных (б) и упругоотраженных (с) электронов. Стрелками показаны Pb-Cu-As-включения

**Fig. 2.** External view (а) and SEM images of the internal structure (б, с) of a copper bracelet in the modes of secondary (б) and elastically reflected (с) electrons. Arrows indicate Pb-Cu-As inclusions

**Таблица 1.** Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы основной массы (1—7), Pb-Cu-Sn-As-Sb (8—13) и Pb-Cu-Ni-сульфоантимонидных (14, 15) микровключений в браслете

**Table 1.** Chemical composition (wt. %) and empirical formulas of the bulk (1—7), Pb-Cu-Sn-As-Sb (8—13) and Pb-Cu-Ni-sulfoantimonide (14, 15) microinclusions in the bracelet

№ п/п	Cu	Sn	Pb	Ni	S	As	Sb	Формулы / Formulas
1	100	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	Cu
2	100	»	»	»	»	»	»	Cu
3	100	»	»	»	»	»	»	Cu
4	98.92	1.08	»	»	»	»	»	Cu
5	100	не обн.	»	»	»	»	»	Cu
6	98.82	1.18	»	»	»	»	»	Cu
7	97.35	2.65	»	»	»	»	»	$Cu_{0.98}Sn_{0.02}$
8	8.29	не обн.	77.67	»	»	7.35	6.69	$Pb_{0.57}Cu_{0.2}As_{0.15}Sb_{0.08}$
9	11.66	»	70.1	»	»	10.22	8.02	$Pb_{0.47}Cu_{0.25}As_{0.19}Sb_{0.09}$
10	8.05	»	54.65	»	»	не обн.	37.3	$Pb_{0.38}Cu_{0.18}Sb_{0.44}$
11	6.71	1.81	70.12	»	0.72	5.99	14.69	$Pb_{0.5}Cu_{0.15}Sn_{0.02}S_{0.03}As_{0.12}Sb_{0.18}$
12	6.92	5.09	63.28	»	не обн.	не обн.	24.71	$Pb_{0.38}Cu_{0.16}Sn_{0.06}Sb_{0.31}$
13	9.87	не обн.	55.9	»	»	»	34.23	$Pb_{0.38}Cu_{0.22}Sb_{0.4}$
14	15.02	»	57.36	0.91	0.92	»	25.79	$(Pb_{1.16}CuNi_{0.06})_{2.22}(Sb_{0.87}S_{0.13})$
15	10.66	»	63.75	0.75	0.74	3.87	20.23	$(Pb_{1.35}Cu_{0.74}Ni_{0.06})_{2.15}(Sb_{0.74}S_{0.16})$

Note: не обн. — not detected.

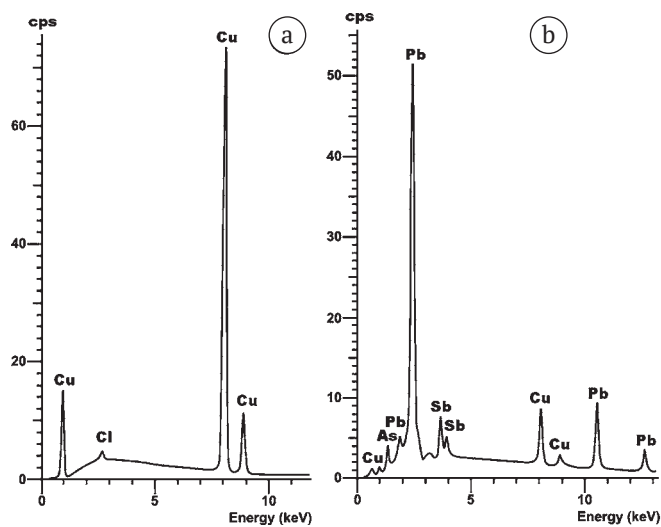


Рис. 3. ЭД-спектры, полученные от основной массы (а) и Pb-Cu-As-включений (b) в медном браслете

Fig. 3. ED spectra obtained from the main mass (a) and Pb-Cu-As inclusions (b) in a copper bracelet

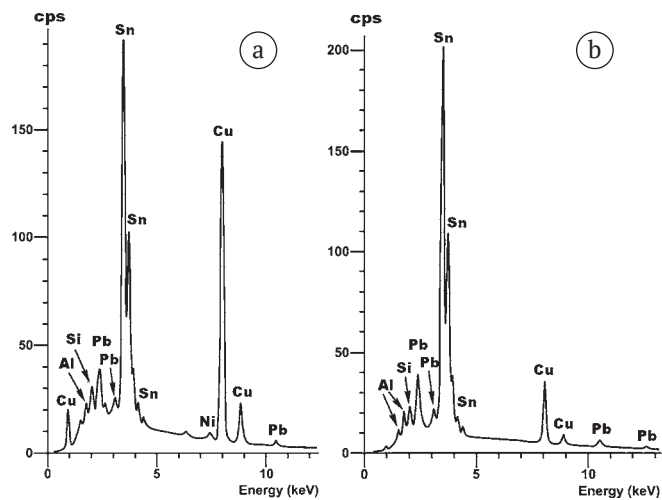


Рис. 5. ЭД-спектры, полученные от основной массы (а) и с окисленной поверхностью (b) лапчатой подвески

Fig. 5. ED spectra obtained from the main mass (a) and from the oxidized surface (b) of the claw pendant

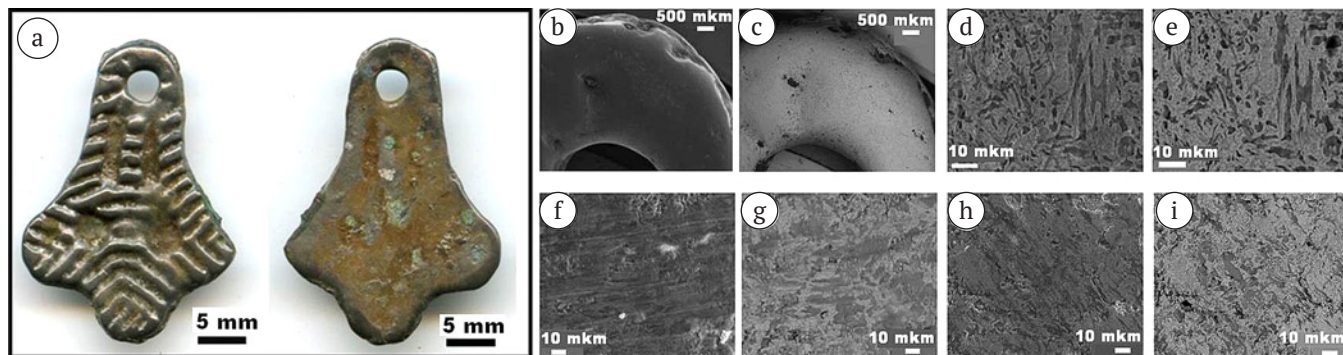


Рис. 4. Внешний вид лапчатой подвески (а) и СЭМ-изображения ее скульптурированной лицевой поверхности (b, c) и внутреннего строения (d–i) в режимах вторичных (b, d, f, h) и упругоотраженных (c, e, g, i) электронов

Fig. 4. The appearance of the claw suspension (a) and SEM images of its sculpted front surface (b, c) and internal structure (d–i) in the modes of secondary (b, d, f, h) and elastically reflected (c, e, g, i) electrons

Таблица 2. Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы лапчатой подвески

Table 2. Chemical composition (wt. %) and empirical formulas of the claw pendant

Cu	Sn	Pb	Ni	Fe	Si	Al	P	Формулы / Formulas
45.66	44.9	5.64	0.64	не обн.	0.72	не обн.	2.44	$Cu_{0.58}Sn_{0.3}Pb_{0.02}Ni_{0.01}Si_{0.02}P_{0.07}$
59.57	37.14	2.69	не обн.	»	не обн.	»	0.6	$Cu_{0.73}Sn_{0.24}Pb_{0.01}P_{0.02}$
46.84	43.37	4.63	1.1	»	0.46	1.73	1.87	$Cu_{0.57}Sn_{0.28}Pb_{0.02}Ni_{0.01}Si_{0.01}Al_{0.05}P_{0.06}$
56.19	39.02	1.95	не обн.	0.42	0.52	1.25	0.65	$Cu_{0.67}Sn_{0.25}Pb_{0.01}Fe_{0.01}Si_{0.01}Al_{0.03}P_{0.02}$
44.97	45.74	4.68	»	0.86	0.72	1.7	1.32	$Cu_{0.56}Sn_{0.3}Pb_{0.02}Fe_{0.01}Si_{0.02}Al_{0.05}P_{0.04}$

Note: не обн. — not detected.

Таблица 3. Химический состав поверхностной пленки окисления на лапчатой подвеске, мас. %

Table 3. Chemical composition of the oxidation surface film on the claw pendant, wt. %

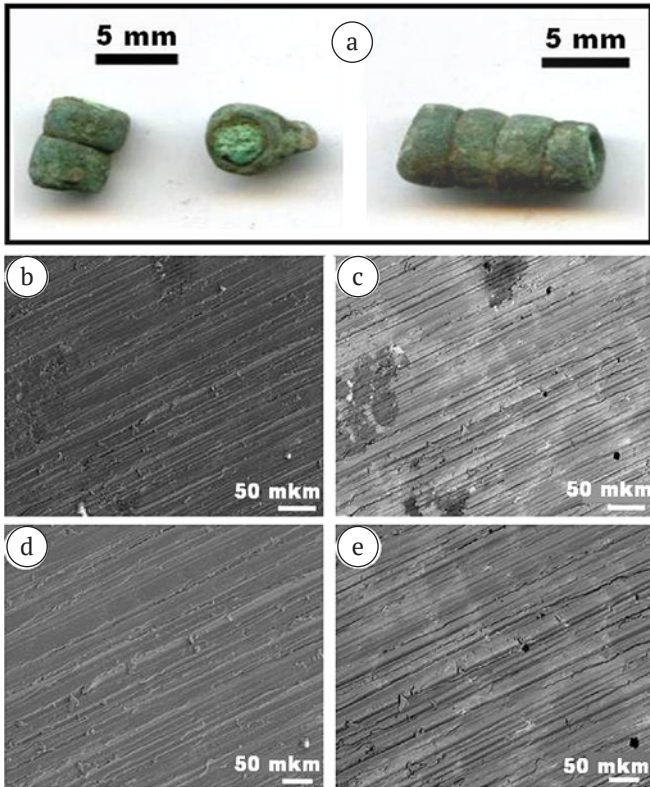
Компоненты / Component	1	2	3	4	5	Среднее / Average	СКО / RMSD
CuO	14.77	14.62	13.86	15.55	14.63	14.69	0.6
SnO <sub>2</sub>	68.96	67.45	58.27	68.55	68.4	66.33	4.54
PbO	9.22	9.24	10.6	8.56	8.19	9.16	0.92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	не обн.	0.44	1.4	не обн.	0.28	0.42	0.58
SiO <sub>2</sub>	2.94	3.0	2.87	3.61	4.52	3.39	0.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.97	2.04	7.0	1.45	1.94	2.88	2.31
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.14	3.21	6.0	2.28	2.04	3.13	1.69

Примечание. СКО — среднее квадратичное отклонение.

Note: RMSD — root mean square deviation; не обн. — not detected.

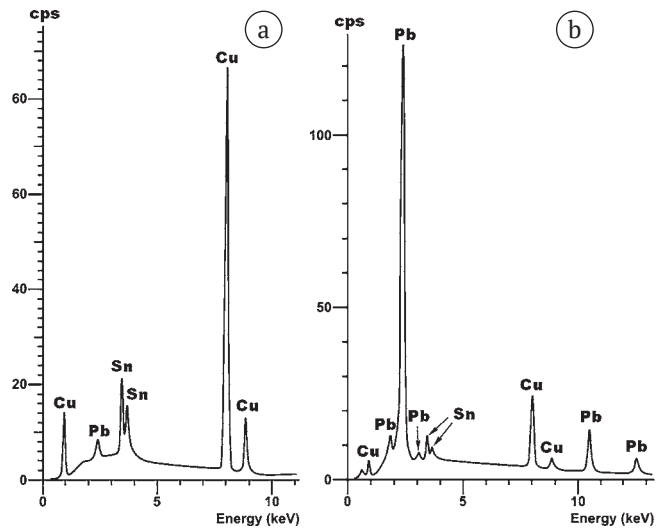


**3. Кольцевидные бусины.** Фрагменты окисленных с поверхности бронзовых украшений длиной 6.5–12 мм, диаметром от 4 до 5.5 мм (рис. 6, а). В основной массе (рис. 6, б–е) выявлены две разновидности бронз (табл. 4): преобладающая низкооловянистая состава  $Cu_{0.95-0.98}Sn_{0.01-0.05}Pb_{0-0.01}$  и умеренно оловянистая  $Cu_{0.91-0.92}Sn_{0.07}Pb_{0-0.01}$ . В бронзах встречаются единичные микровключения состава  $Pb_{0.56-0.88}Cu_{0.12-0.37}Sn_{0-0.07}$  (рис. 7). Поверхность бусин подверглась окислению, что, очевидно, и придало бусинам зеленый цвет.



**Рис. 6.** Внешний вид кольцевидных бусин (а) и СЭМ-изображения их внутреннего строения (б–е) в режимах вторичных (б, д) и упругоотраженных (с, е) электронов

**Fig. 6.** External view of ring-shaped beads (а) and SEM images of their internal structure (б–е) in the modes of secondary (b, d) and elastically reflected (c, e) electrons



**Рис. 7.** ЭД-спектры, полученные от основной массы (а) и свинцово-медных микровключений (б) в кольцевидных бусинах

**Fig. 7.** ED spectra obtained from the bulk (а) and lead-copper microinclusions (б) in ring-shaped beads

**4. Шаровидный бубенчик с линейной прорезью.**

Изделие размером 18 × 13 мм (рис. 8) сложено двумя разновидностями бронз — резко преобладающей низкооловянистой состава  $Cu_{0.95-0.97}Sn_{0.03-0.04}$  и умеренно оловянистой  $Cu_{0.91}Sn_{0.08}Pb_{0.01}$  (табл. 5). На поверхности обнаружена микрокорка окисления гидросульфатхлоридного состава —  $(Pb_{0.69-0.86}Cu_{0.14-0.42}Sn_{0-0.06})Cl_{0.06-1.36}[SO_4]_{0-0.57}(OH)_{0.54-0.96}$ , вероятно и придающая изделию зеленый цвет.

**5. Спиралевидные пронизки.**

Бронзовые украшения длиной 18–26 мм, диаметром 2–4 мм (рис. 9). Характеризуются однородным микростроением (рис. 10) и контрастным составом основной массы, будучи сложенными низко- и высокооловянистой разновидностями цинксодежающей бронзы состава соответственно  $Cu_{0.87-0.9}Sn_{0.03-0.05}Zn_{0.02-0.07}Si_{0.01}Cl_{0.01}$  и  $Cu_{0.63}Sn_{0.25}Zn_{0.01}Pb_{0.07}Si_{0.03}Cl_{0.01}$  (рис. 11, табл. 6). На поверхности пронизок выявлены микрокорки окисления двух типов — оксимедно-окисвинцовых и стекловидных окисвинцово-опаловых (табл. 7). Как известно, цинкистые бронзы такого состава были в сред-

**Таблица 4.** Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы основной массы (1–9) и свинцово-медных включений (10–12) в кольцевидных бусинах

**Table 4.** Chemical composition (wt. %) and empirical formulas of the bulk (1–9) and lead-copper inclusions (10–12)

№ п/п	Cu	Sn	Pb	Формулы / Formulas
1	93.7	5.46	0.83	$Cu_{0.97}Sn_{0.03}$
2	96.06	2.89	1.05	$Cu_{0.98}Sn_{0.01}Pb_{0.01}$
3	89.6	8.49	1.91	$Cu_{0.95}Sn_{0.05}$
4	92.33	7.67	не обн.	$Cu_{0.96}Sn_{0.04}$
5	95.92	4.08	не обн.	$Cu_{0.98}Sn_{0.02}$
6	83.45	12.94	3.61	$Cu_{0.91}Sn_{0.07}Pb_{0.01}$
7	86.27	12.82	0.91	$Cu_{0.92}Sn_{0.07}Pb_{0.01}$
8	85.48	11.55	2.97	$Cu_{0.92}Sn_{0.07}Pb_{0.01}$
9	84.76	11.36	3.88	$Cu_{0.92}Sn_{0.07}Pb_{0.01}$
10	5.28	не обн.	94.72	$Pb_{0.85}Cu_{0.15}$
11	15.97	4.96	79.07	$Pb_{0.56}Cu_{0.37}Sn_{0.07}$
12	4.03	не обн.	95.97	$Pb_{0.88}Cu_{0.12}$

Note: не обн. — not detected.





Рис. 8. Внешний вид шаровидного бубенчика

Fig. 8. Appearance of a spherical bell

Таблица 5. Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы основной массы (1–6) и выделений гидроксисульфатхлоридной фазы на поверхности (7–14) шаровидного бубенчика

Table 5. Chemical composition (wt.%) and empirical formulas of the main mass (1–6) and precipitation of the hydroxysulfate chloride phase on the surface (7–14) of a spherical bell

№ п/п	Cu	Sn	Pb	S	Cl	Формулы / Formulas
1	91.83	5.79	2.38	не обн.	не обн.	$Cu_{0.96}Sn_{0.03}Pb_{0.01}$
2	94.3	5.7	не обн.	»	»	$Cu_{0.97}Sn_{0.03}$
3	94.77	5.23	»	»	»	$Cu_{0.97}Sn_{0.03}$
4	92.04	7.27	0.69	»	»	$Cu_{0.95}Sn_{0.04}Pb_{0.01}$
5	92.1	7.87	не обн.	»	»	$Cu_{0.96}Sn_{0.04}$
6	84.02	13.13	2.85	»	»	$Cu_{0.91}Sn_{0.08}Pb_{0.01}$
7	3.02	не обн.	77.08	не обн.	19.9	$(Pb_{0.88}Cu_{0.12}Cl_{1.32}(OH)_{0.68})$
8	3.61	»	75.66	0.48	20.25	$(Pb_{0.86}Cu_{0.14}Cl_{1.36}[SO_4]_{0.02}(OH)_{0.6})$
9	15.38	0.73	68.52	0.92	14.45	$(Pb_{0.56}Cu_{0.42}Sn_{0.02}Cl_{1.0}[SO_4]_{0.05}(OH)_{0.9})$
10	3.76	не обн.	75.07	0.84	20.33	$(Pb_{0.85}Cu_{0.14}Sn_{0.03}Cl_{1.32}[SO_4]_{0.07}(OH)_{0.54})$
11	5.58	»	77.52	не обн.	16.9	$(Pb_{0.81}Cu_{0.19}Cl_{1.04}(OH)_{0.96})$
12	5.52	»	74.57	0.61	19.3	$(Pb_{0.78}Cu_{0.2}Sn_{0.02}Cl_{1.2}[SO_4]_{0.04}(OH)_{0.72})$
13	3.48	»	76.67	0.66	19.19	$(Pb_{0.84}Cu_{0.14}Sn_{0.02}Cl_{1.25}[SO_4]_{0.05}(OH)_{0.65})$
14	8.45	3.82	76.46	30.84	1.21	$(Pb_{0.69}Cu_{0.25}Sn_{0.06}Cl_{0.06}[SO_4]_{0.57}(OH)_{0.8})$

Note: не обн. — not detected.



Рис. 9. Внешний вид спиралевидных пронизок

Fig. 9. The appearance of spiral penetrations



Рис 10. СЭМ-изображения спиралевидных пронизок в режимах вторичных (а, с, е, г) и упругоотраженных (b, d, f, h) электронов

Fig. 10. SEM images of spiral penetrations in the modes of secondary (a, c, e, g) and elastically reflected (b, d, f, h) electrons

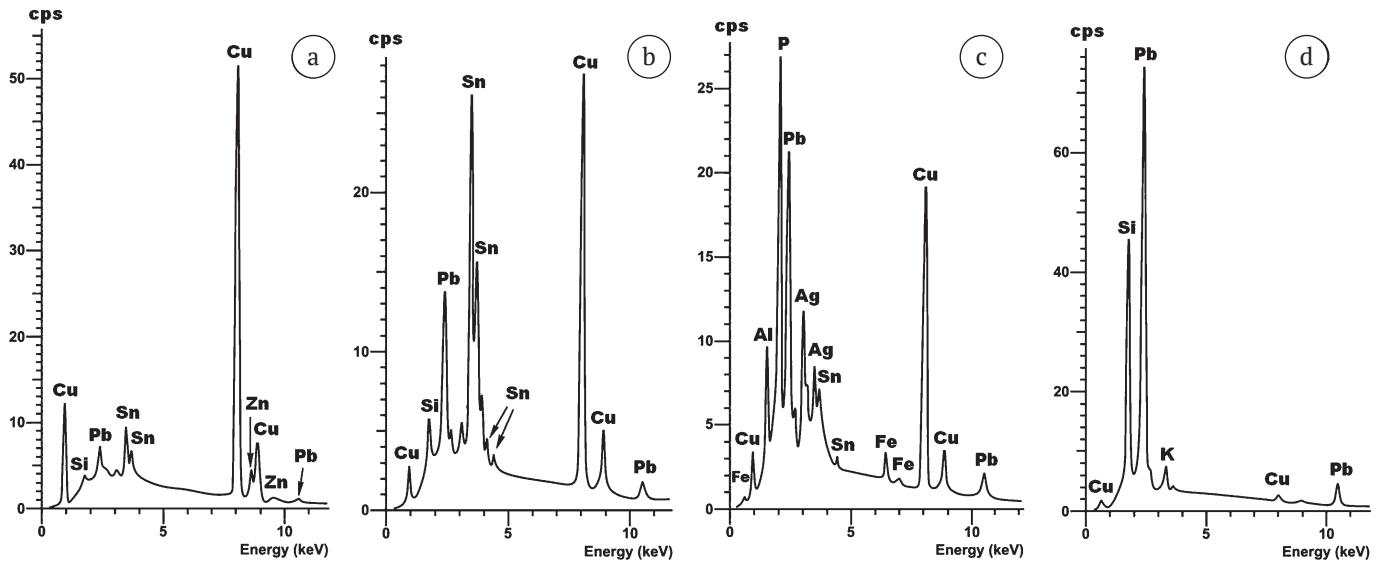


Рис. 11. ЭД-спектры, полученные от основной массы в спиралевидных пронизках (а, б) и микрокорок медно-свинцового и свинцово-опалового состава на их поверхности (с, д)

Fig. 11. ED spectra obtained from the bulk in spiral piercings (a, b) and microcrusts of copper-lead and lead-opal composition on their surface (c, d)

Таблица 6. Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы основной массы в спиралевидных пронизках

Table 6. Chemical composition (wt. %) and empirical formulas of the bulk of spiral penetrations

Cu	Sn	Zn	Pb	Si	Cl	Формула / Formula
85.52	8.62	1.82	3.17	0.54	0.33	$Cu_{0.9}Sn_{0.05}Zn_{0.02}Pb_{0.01}Si_{0.01}Cl_{0.01}$
84.18	5.13	7.04	2.08	0.85	0.72	$Cu_{0.87}Sn_{0.03}Zn_{0.07}Pb_{0.01}Si_{0.01}Cl_{0.01}$
45.76	33.85	0.99	16.86	1.97	0.57	$Cu_{0.63}Sn_{0.25}Zn_{0.01}Pb_{0.07}Si_{0.03}Cl_{0.01}$

Таблица 7. Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы микрокорок окисления оксимедно-окисвинцового (1–3) и окисвинцово-опалового (4–12) состава на поверхности спиралевидных пронизок

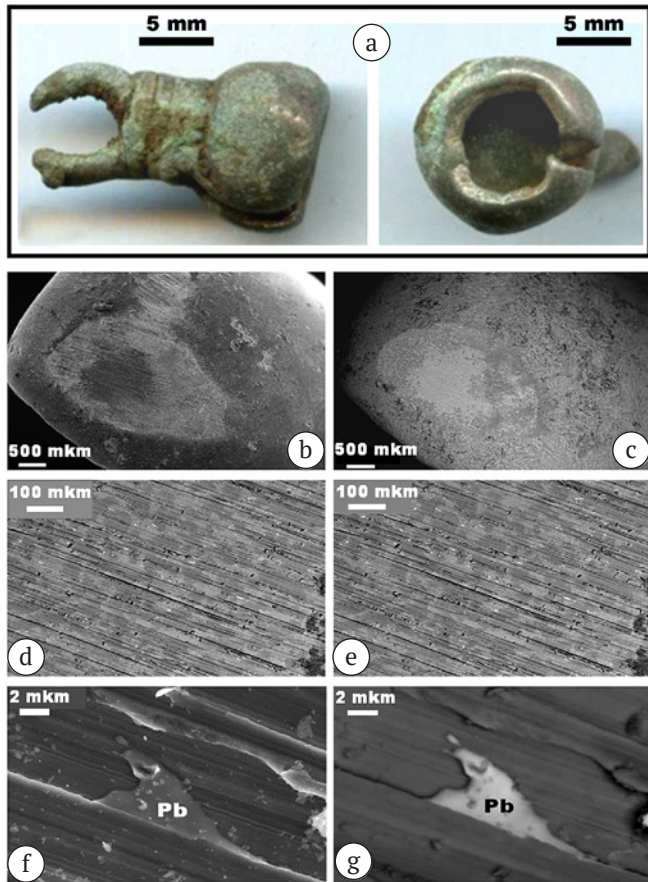
Table 7. Chemical composition (wt. %) and empirical formulas of microcells oxidation of oxymedon-oxy-lead (1–3) and oxy-lead-opal (4–12) composition on the surface of spiral penetrations

№ п/п	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	CuO	SnO <sub>2</sub>	PbO	ZnO	Cl
1	2.81	3.03	0.69	1.06	не обн.	35.03	не обн.	41.22	1.64	0.46
2	1.39	не обн.	5.66	не обн.	»	30.29	39.21	21.52	1.37	0.56
3	3.63	3.98	1.44	»	»	29.35	10.16	37.31	1.63	0.49
Среднее Average	2.61	2.34	2.6	0.35	не опр.	31.56	16.46	33.35	1.55	0.5
СКО RMSD	1.13	2.08	2.68	0.61		3.04	20.35	10.43	0.15	0.05
4	27.47	0.81	не обн.	не обн.	1.45	0.55	не обн.	69.72	не обн.	не обн.
5	39.35	6.52	»	»	не обн.	2.98	»	51.15	»	»
6	39.8	6.84	»	»	0.28	2.61	0.89	49.58	»	»
7	25.22	не обн.	»	»	1.58	1.05	не обн.	72.15	»	»
8	25.53	»	»	»	1.54	0.97	»	71.96	»	»
9	21.51	3.99	»	»	0.47	8.17	»	34.14	»	»
10	27.68	0.84	»	»	1.22	0.75	»	69.51	»	»
11	25.33	не обн.	»	»	1.4	не обн.	»	73.27	»	»
12	25.99	»	»	»	не обн.	0.97	»	73.04	»	»
Среднее Average	28.65	2.11	не опр.	не опр.	0.88	2.01	0.1	62.72	не опр.	не опр.
СКО RMSD	0.44	2.88			0.68	2.5	0.3	14.19		

Note: не обн. — not detected; не опр. — not determined.

невековые характерными для Прибалтийской металлургической провинции.

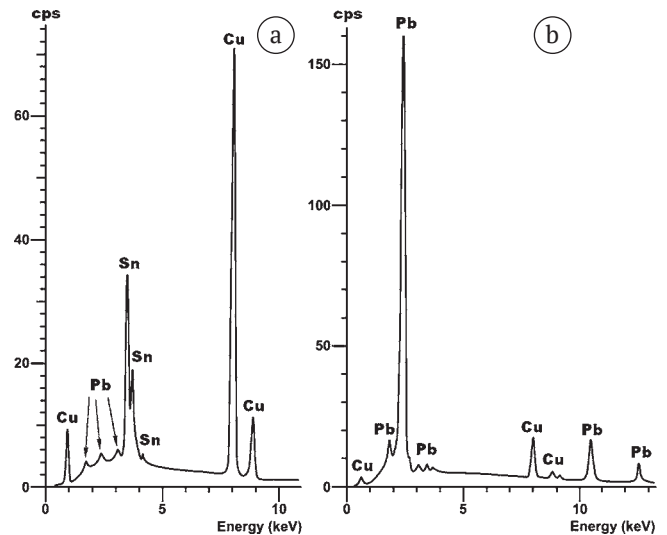
**6. Колокольчик с обломанным ушком.** Бронзовое изделие длиной 20 мм, диаметром 16 мм (рис. 12, а).



**Рис. 12.** Внешний вид (а) и СЭМ-изображения поверхности (b, c) и внутреннего строения (d–g) колокольчика в режимах вторичных (b, d, f) и упругоотраженных (c, e, g) электронов. Pb — микровключения в бронзе

**Fig. 12.** Appearance (a) and SEM images of the surface (b, c) and internal structure (d–g) of the bell in the modes of secondary (b, d, f) and elastically reflected (c, e, g) electrons. Pb — microinclusions in bronze

Внутреннее строение микропластинчато-однородное (рис. 12, b–g). Основная масса в фазовом отношении представлена практически равномерным сочетанием умеренно оловянистой —  $\text{Cu}_{0.89-0.91}\text{Sn}_{0.09-0.1}\text{Pb}_{0-0.01}$  и высокооловянистой —  $\text{Cu}_{0.78-0.86}\text{Sn}_{0.14-0.22}\text{Pb}_{0-0.01}$  разновидностями бронзы (рис. 13, табл. 8). Спорадически в бронзе встречаются микровключения размером до  $15 \times 15$  мкм, разделяющиеся по составу на золотосеребряные —  $\text{Ag}_{0.9}\text{Au}_{0.01}\text{Cu}_{0.06}\text{Pb}_{0.02}\text{S}_{0.01}$  и свинцово-медные —  $\text{Pb}_{0.63-0.72}\text{Cu}_{0.17-0.26}\text{Sn}_{0-0.02}\text{S}_{0-0.18}$ .



**Рис. 13.** ЭД-спектры, полученные от основной массы (а) и медно-свинцовых микровключений (b) в колокольчике

**Fig. 13.** ED spectra obtained from the bulk (a) and copper-lead micro-inclusions (b) in the bell

**7. Конусовидная пронизка** длиной 22 мм и диаметром основания 13 мм (рис. 14, а). По внутреннему микростроению и фазовому составу довольно неоднородная (рис. 14, b–e). Основная масса в основном сложена высокооловянистой бронзой состава

**Таблица 8.** Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы вещества основной массы (1–10) и микровключений (11–13) в колокольчике

**Table 8.** Chemical composition (wt. %) and empirical formulas of the bulk substance (1–10) and microinclusions (11–13) in the bell

№ п/п	Cu	Sn	Ag	Au	Pb	S	Формула / Formula
1	81.67	17.88	не обн.	не обн.	0.55	не обн.	$\text{Cu}_{0.89}\text{Sn}_{0.1}\text{Pb}_{0.01}$
2	83.87	16.13	»	»	не обн.	»	$\text{Cu}_{0.91}\text{Sn}_{0.09}$
3	84.13	15.87	»	»	»	»	$\text{Cu}_{0.91}\text{Sn}_{0.09}$
4	89.76	15.31	»	»	3.93	»	$\text{Cu}_{0.9}\text{Sn}_{0.09}\text{Pb}_{0.01}$
5	83.43	16.57	»	»	не обн.	»	$\text{Cu}_{0.9}\text{Sn}_{0.1}$
6	74.75	24.05	»	»	1.2	»	$\text{Cu}_{0.85}\text{Sn}_{0.14}\text{Pb}_{0.01}$
7	68.92	31.08	»	»	не обн.	»	$\text{Cu}_{0.81}\text{Sn}_{0.19}$
8	70.68	28.61	»	»	0.71	»	$\text{Cu}_{0.81}\text{Sn}_{0.18}\text{Pb}_{0.01}$
9	65.49	34.51	»	»	не обн.	»	$\text{Cu}_{0.78}\text{Sn}_{0.22}$
10	71.81	21.19	»	»	»	»	$\text{Cu}_{0.86}\text{Sn}_{0.14}$
11	3.48	не обн.	91.4	1.75	3.01	0.36	$\text{Ag}_{0.9}\text{Au}_{0.01}\text{Cu}_{0.06}\text{Pb}_{0.02}\text{S}_{0.01}$
12	9.92	1.52	не обн.	не обн.	88.56	не обн.	$\text{Pb}_{0.72}\text{Cu}_{0.26}\text{Sn}_{0.02}$
13	7.34	1.74	»	»	90.41	0.51	$\text{Pb}_{0.63}\text{Cu}_{0.17}\text{Sn}_{0.02}\text{S}_{0.18}$

Note: не обн. — not detected.



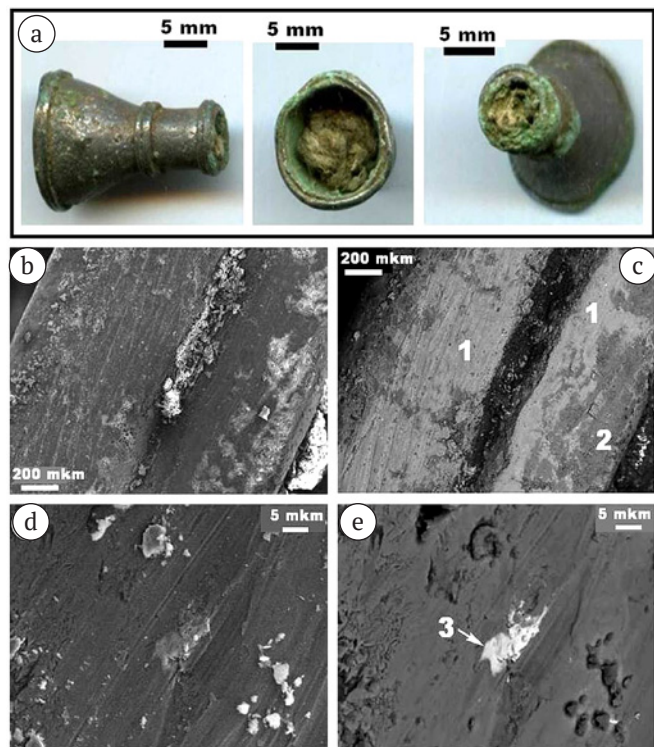
$Cu_{0.77-0.87}Sn_{0.13-0.23}Pb_{0-0.0}$  с незначительной примесью умеренно оловянистой бронзы состава  $Cu_{0.89}Sn_{0.1}Pb_{0.01}$  (рис. 15, табл. 9). Отмечаются медно-свинцовые микровключения размером от  $0.5 \times 1$  до  $5 \times 10$  мкм.

**Таблица 9.** Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы вещества конусовидной пронизки

**Table 9.** Chemical composition (wt.%) and empirical formulas cone-shaped substances

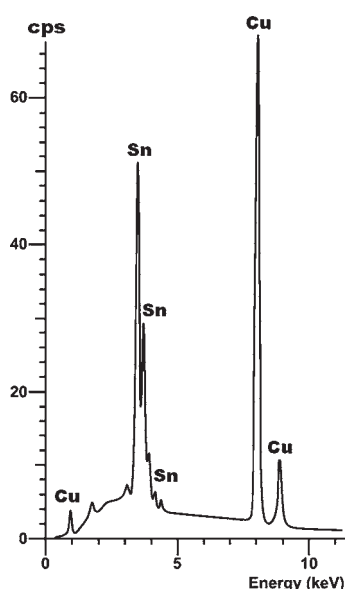
Cu	Sn	Pb	S	Формулы / Formulas
81.0	17.5	1.5	не обн.	$Cu_{0.89}Sn_{0.1}Pb_{0.01}$
69.25	29.91	0.84	»	$Cu_{0.81}Sn_{0.18}Pb_{0.01}$
78.79	21.21	не обн.	»	$Cu_{0.87}Sn_{0.13}$
66.43	31.9	1.67	»	$Cu_{0.77}Sn_{0.2}Pb_{0.03}$
73.56	25.31	1.13	»	$Cu_{0.84}Sn_{0.15}Pb_{0.01}$
64.59	35.41	не обн.	»	$Cu_{0.77}Sn_{0.23}$
72.37	27.63	»	»	$Cu_{0.83}Sn_{0.17}$
3.71	не обн.	96.29	»	$Pb_{0.89}Cu_{0.11}$
3.94	»	93.46	2.6	$Pb_{0.76}Cu_{0.01}S_{0.14}$

Note: не обн. — not detected.



**Рис. 14.** Внешний вид (а) и СЭМ-изображения внутреннего строения (b–e) в режимах вторичных (b, d) и упругоотраженных (c, e) электронов конусовидной пронизки. 1, 2 — бронзы соответственно высоко- и умеренно оловянистые; 3 — медно-свинцовые микровключения

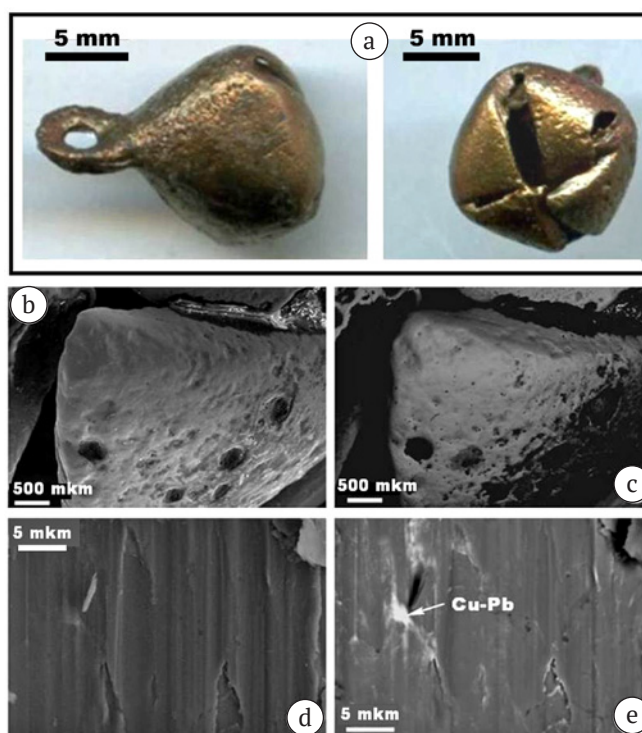
**Fig. 14.** Appearance (a) and SEM images of the internal structure (b–e) in the modes of secondary (b, d) and elastically reflected (c, e) cone-shaped electrons. 1, 2 — bronzes, respectively, high- and moderate-grained; 3 — copper-lead microinclusions



**Рис. 15.** ЭД-спектр, полученный от высокооловянистой бронзы в конусовидной пронизке

**Fig. 15.** ED spectrum obtained from high-tin bronze in a cone-shaped pierce

**8. Грушевидный бубенчик с крестообразной прорезью.** Украшение длиной 12.5 мм и диаметром основания 14 мм (рис. 16, а), массивное (рис. 16, b–e), из оловосодержащей латуни (рис. 17, табл. 10) —  $Cu_{0.89-0.94}Zn_{0.05-0.08}Sn_{0.01-0.02}Pb_{0-0.01}$ . В латунной массе спорадически встречаются угловатые микровключения размером от  $1 \times 0.5$  до  $5 \times 2$  мкм, подразделяющиеся по составу на медные —  $Cu_{0.98-0.99}Pb_{0-0.01}Sn_{0-0.01}$  и свинцово-медные —  $Cu_{0.73}Pb_{0.27}$ .



**Рис. 16.** Внешний вид (а) и СЭМ-изображения поверхности (b, c) и внутреннего строения (d, e) в режимах вторичных (b, d) и упругоотраженных (c, e) элементов грушевидного бубенчика

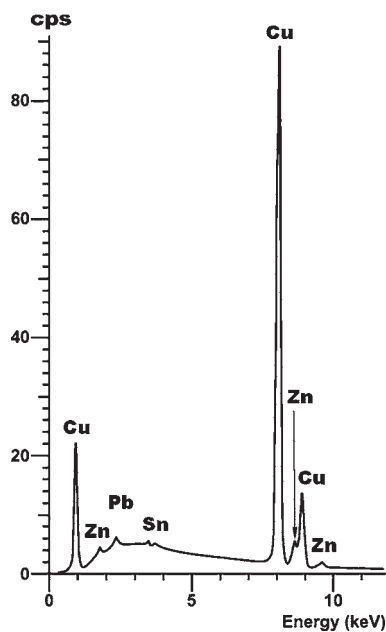
**Fig. 16.** Appearance (a) and SEM images of the surface (b, c) and internal structure (d, e) in the modes of secondary (b, d) and elastically reflected (c, e) elements of a pear-shaped bell

**Таблица 10.** Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы основной массы (1–6) и микровключений (7–10) в грушевидном бубенчике

**Table 10.** Chemical composition (wt. %) and empirical formulas of the bulk (1–6) and microinclusions (7–10) in a pear-shaped tambourine

№ п/п	Cu	Sn	Zn	Pb	Формулы / Formulas
1	85.7	3.35	7.92	3.03	$Cu_{0.89}Sn_{0.02}Zn_{0.08}Pb_{0.01}$
2	86.14	2.78	9.35	1.73	$Cu_{0.89}Sn_{0.02}Zn_{0.08}Pb_{0.01}$
3	93.08	0.75	5.03	1.14	$Cu_{0.94}(Sn,Pb)_{0.01}Zn_{0.05}$
4	89.16	1.37	7.78	1.69	$Cu_{0.9}Sn_{0.01}Zn_{0.08}Pb_{0.01}$
5	91.96	0.78	6.03	1.23	$Cu_{0.95}(Sn,Pb)_{0.01}Zn_{0.06}$
6	93.4	0.92	4.62	1.06	$Cu_{0.94}(Sn,Pb)_{0.01}Zn_{0.05}$
7	95.08	1.2	0.68	3.04	$Cu_{0.98}Pb_{0.01}(Sn,Zn)_{0.01}$
8	98.06	0.73	не обн.	1.21	$Cu_{0.99}(Sn,Pb)_{0.01}$
9	96.13	0.74	»	3.13	$Cu_{0.98}Pb_{0.01}(Sn,Pb)_{0.01}$
10	45.72	н.о.	»	54.28	$Cu_{0.73}Pb_{0.27}$

Note: не обн. — not detected.



**Рис. 17.** ЭД-спектр, полученный от латуни в грушевидном бубенчике

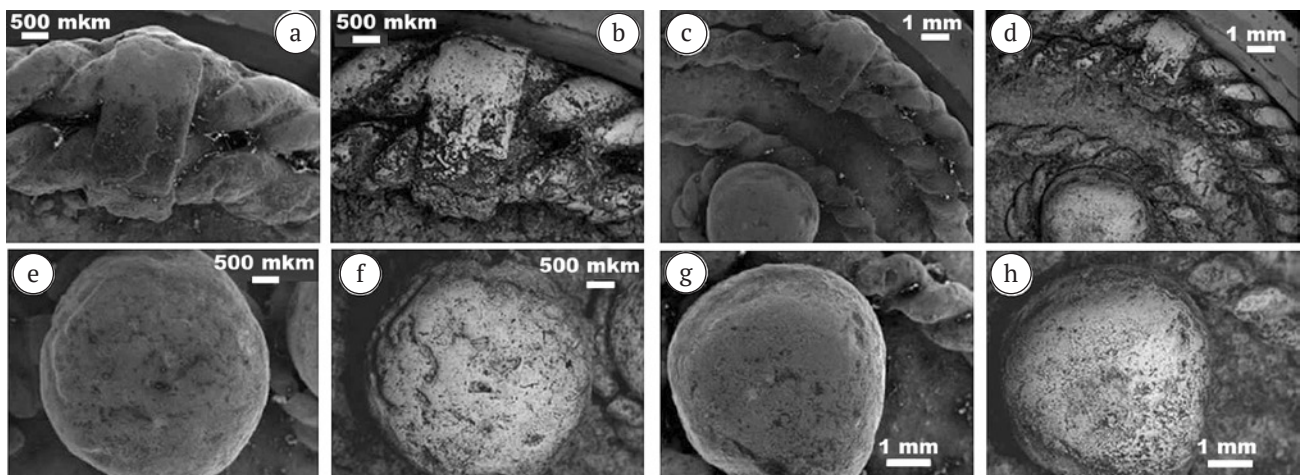
**Fig. 17.** The ED spectrum obtained from brass in a pear-shaped bell

**9. Зернофилигранная бляшка-подвеска** размером 27 × 23 мм, зернь диаметром 3.5–4 мм (рис. 18, 19). Основную массу подвески составляет серебро с пробой 934–1000 (985 ± 2) ‰, в качестве примесей



**Рис. 18.** Внешний вид бляшки-подвески с шариками зерни, обрамленными пояском скани и двумя рядами по краю бляшки

**Fig. 18.** Appearance of a pendant plaque with beads of grain framed filigree belt and two rows along the edge of the plaque



**Рис. 19.** СЭМ-изображения сканозерновой бляшки-подвески в режимах вторичных (а, с, е, г) и упругоотраженных (b, d, f, h) электронов

**Fig. 19.** SEM images of a scanned-grain plaque-suspension in secondary modes (a, c, e, g) and elastically reflected (b, d, f, h) electrons



выступают магний, сера и хлор —  $Ag_{0.82-1}Mg_{0-0.04}S_{0-0.14}Cl_{0-0.04}$  (рис. 20, табл. 11). В зерни серебро практически той же пробы — 960–997 ( $980 \pm 17$ ) ‰, но отличается незначительной примесью золота —  $Ag_{0.88-0.99}Au_{0-0.01}S_{0-0.08}Cl_{0-0.06}$ . На поверхности бляшки-подвески обнаружены хлориды.

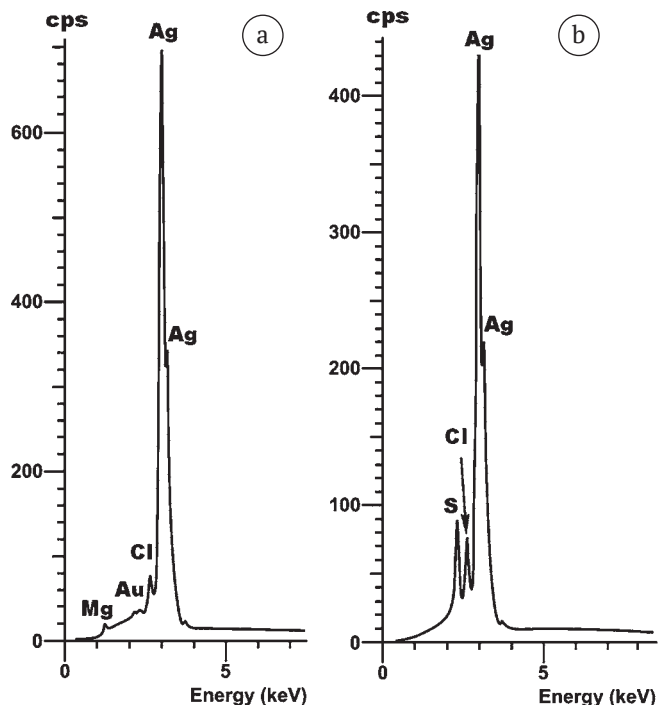


Рис. 20. ЭД-спектры, полученные от зерни (а) и основной массы (б) в бляшке-подвеске

Fig. 20. ED spectra obtained from grains (a) and main mass (b) in a plaque-pendant

**10. Фрагмент тонкопроволочного височного кольца с филигранью.** Часть серебряного украшения длиной 35 мм, диаметром 2–4 мм. Для него характерны насаженные на проволоку кольцевые дополнения большего, чем сама проволока, диаметра (рис. 21). В качестве примазок на поверхности кольца установлены следы серебро-олово-медного припоя (рис. 22). Проба серебра в основной массе — 897–964 ( $947 \pm 25$ ) ‰, в качестве примесей присутствуют золото и медь —  $Ag_{0.92-0.95}Au_{0-0.01}Cu_{0.04-0.08}$  (рис. 23, табл. 12). Припой имеет состав  $Cu_{0.3-0.33}Sn_{0.22-0.32}Ag_{0.21-0.29}Au_{0-0.01}Pb_{0-0.02}P_{0.13-0.16}$ , обнаруживая незначительную примесь золота. Это указывает на заимствование припоем серебра непосредственно из височного кольца. Судя по составу припоя, температура его плавления могла составлять в среднем около 650 °С, что на 310–350 °С ниже, чем у серебра с пробой 950–1000 °С. Для сравнения можно привести аналогичные данные по припою в серебряных изделиях из погребения № 115 Кокпомягского могильника (Савельева и др., 2024). В этом случае припой имел состав  $Ag_{0.28-0.48}Sn_{0.16-0.51}Cu_{0.02-0.06}S_{0.09-0.13}Cl_{0.04-0.2}$ , что при пересчете на температуру плавления тоже дает около 650 °С.



Рис. 21. Внешний вид первого фрагмента височного кольца, стрелками показаны участки со следами припоя

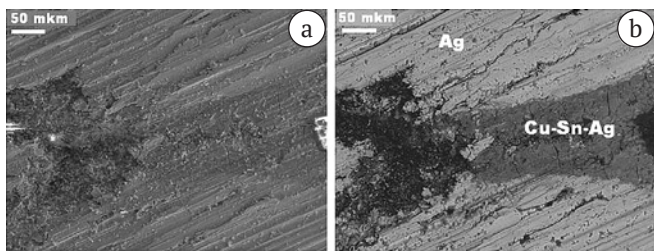
Fig. 21. Appearance of the first fragment of the temporal ring, arrows areas with traces of solder are shown

**Таблица 11.** Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы вещества в основной массе (1–8), зерни (9–12) и на поверхности (13–15) бляшки-подвески

**Table 11.** Chemical composition (wt.%) and empirical formulas of the substance in the ground mass (1–8), grains (9–12) and on the surface (13–15) of pendant plaques

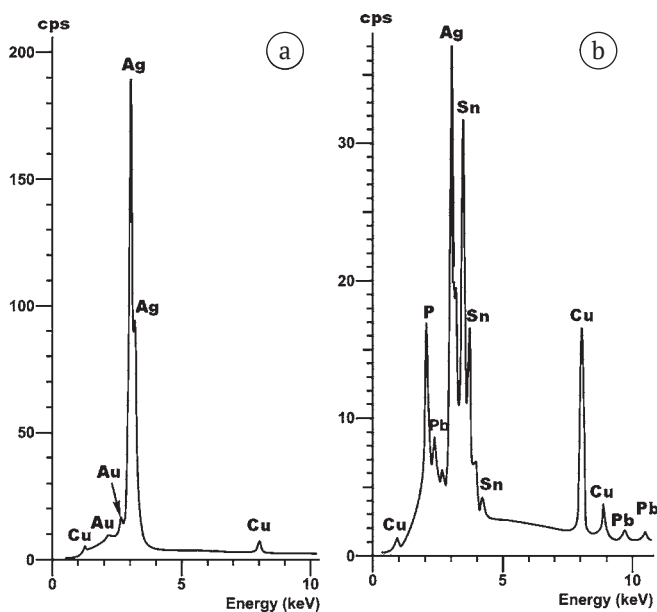
№ п/п	Ag	Au	Mg	Na	Cl	S	Формулы / Formulas
1	100	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	Ag
2	99.38	»	0.62	»	»	»	$Ag_{0.97}Mg_{0.03}$
3	98.74	0.48	0.6	»	0.18	»	$Ag_{0.96}Cl_{0.01}Mg_{0.03}$
4	99.08	0.4	0.52	»	не обн.	»	$Ag_{0.97}Mg_{0.03}$
5	99.73	не обн.	не обн.	»	»	0.27	$Ag_{0.99}S_{0.01}$
6	99.6	»	»	»	»	0.4	$Ag_{0.99}S_{0.01}$
7	93.36	0.66	»	»	1.29	4.69	$Ag_{0.82}S_{0.14}Mg_{0.04}$
8	97.9	0.63	0.72	»	0.75	не обн.	$Ag_{0.94}Mg_{0.03}Cl_{0.03}$
9	96.04	не обн.	не обн.	не обн.	1.44	2.52	$Ag_{0.88}S_{0.08}Cl_{0.04}$
10	99.21	0.79	»	»	не обн.	не обн.	$Ag_{0.99}Au_{0.01}$
11	99.68	не обн.	»	»	0.32	»	$Ag_{0.99}Cl_{0.01}$
12	97.18	»	»	»	2.08	0.74	$Ag_{0.92}S_{0.02}Cl_{0.06}$
13	73.1	не обн.	не обн.	18.72	8.18	не обн.	$0.29Ag + 0.71NaCl_{0.29}(OH)_{0.71}$
14	91.88	»	»	не обн.	5.09	3.03	$Ag_{0.78}Cl_{0.13}S_{0.09}$
15	94.31	0.73	»	»	3.88	1.08	$Ag_{0.78}Cl_{0.13}S_{0.09}$

Note: не обн. — not detected.



**Рис. 22.** СЭМ-изображения внутреннего строения первого фрагмента височного кольца в режимах вторичных (а) и упругоотраженных (б) электронов. Ag — основная масса, Cu-Sn-Ag — припой

**Fig. 22.** SEM images of the internal structure of the first fragment of the temporal ring in the modes secondary (a) and elastically reflected (b) electrons. Ag — bulk, Cu-Sn-Ag — solder



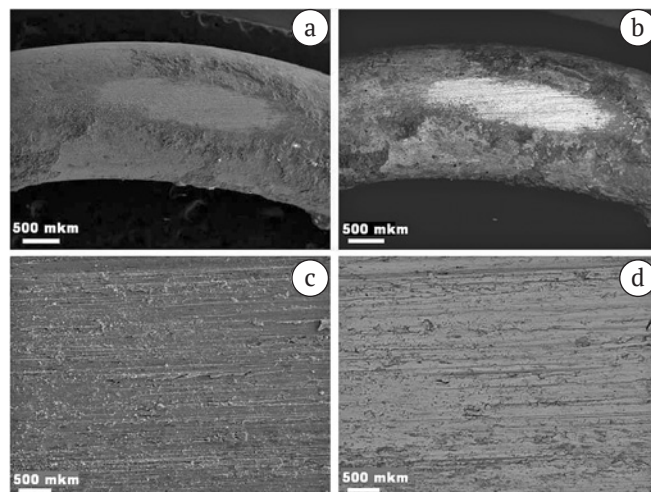
**Рис. 23.** ЭД-спектры, полученные от основной массы (а) и Cu-Sn-Ag-припоя (б) в первом фрагменте височного кольца

**Fig. 23.** ED spectra obtained from the bulk (a) and Cu-Sn-Ag solder (b) in the first fragment of the temporal ring

**11. Второй фрагмент тонкопроволочного височного кольца с филигранью.** Отличается от вышерассмотренного отсутствием насаженных на проволоку кольцевых дополнений (рис. 24). В соответствии с этим отсутствуют и следы припоя (рис. 25). Размеры второго фрагмента: длина 36 мм, диаметр 2.5 мм. Проба серебра в основной массе — 862–945 (915 ± 26) ‰, в качестве примесей установлены золото, медь и свинец —  $Ag_{0.79-0.81}Au_{0-0.01}Cu_{0.08-0.21}Pb_{0-0.02}$  (рис. 26, табл. 13).



**Рис. 24.** Внешний вид второго фрагмента височного кольца  
**Fig. 24.** Appearance of the second fragment of the temporal ring



**Рис. 25.** СЭМ-изображения второго фрагмента височного кольца в режимах вторичных (а, с) и упругоотраженных (б, d) электронов

**Fig. 25.** SEM images of the second fragment of the temporal ring in the modes secondary (a, c) and elastically reflected (b, d) electrons

**Таблица 12.** Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы вещества в основной массе (1–6) и в припое (7–9) первого фрагмента височного кольца

**Table 12.** Chemical composition (wt.%) and empirical formulas of the substance in the ground mass (1–6) and in the solder (7–9) of the first fragment of the temporal ring

№ п/п	Ag	Au	Cu	Sn	Pb	P	Формулы / Formulas
1	95.35	1.23	3.42	не обн.	не обн.	не обн.	$Ag_{0.94}Au_{0.01}Cu_{0.05}$
2	96.27	1.45	2.28	»	»	»	$Ag_{0.95}Au_{0.01}Cu_{0.04}$
3	94.85	1.26	3.89	»	»	»	$Ag_{0.93}Au_{0.01}Cu_{0.06}$
4	95.42	4.57	не обн.	»	»	»	$Ag_{0.92}Cu_{0.08}$
5	89.66	10.34	»	»	»	»	$Ag_{0.92}Cu_{0.08}$
6	96.37	3.63	»	»	»	»	$Ag_{0.94}Cu_{0.06}$
7	25.12	не обн.	22.83	43.26	4.2	4.59	$Cu_{0.32}Sn_{0.32}Ag_{0.21}Pb_{0.02}P_{0.13}$
8	35.69	1.96	22.3	29.79	4.25	6.01	$Cu_{0.3}Sn_{0.22}Ag_{0.29}Au_{0.01}Pb_{0.02}P_{0.16}$
9	29.43	не обн.	24.51	36.35	4.1	5.61	$Cu_{0.35}Sn_{0.26}Ag_{0.23}Pb_{0.02}P_{0.16}$

Note: не обн. — not detected.

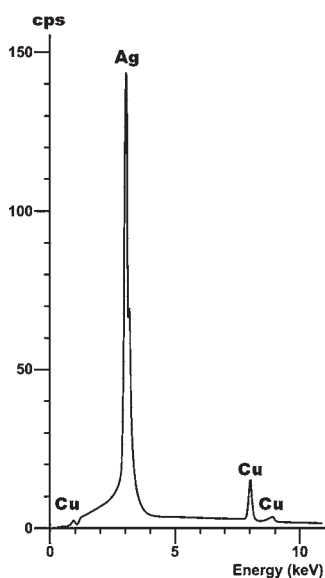


**Таблица 13.** Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы вещества во втором фрагменте височного кольца

**Table 13.** Chemical composition (wt.%) and empirical formulas substances in the second fragment of the temporal ring

Ag	Au	Cu	Pb	Формулы / Formulas
86.24	не обн.	13.76	не обн.	$Ag_{0.79}Cu_{0.21}$
89.74	1.25	5.76	3.25	$Ag_{0.88}Au_{0.01}Cu_{0.1}Pb_{0.01}$
90.43	1.05	6.15	2.37	$Ag_{0.88}Au_{0.01}Cu_{0.1}Pb_{0.01}$
91.16	не обн.	6.61	2.23	$Ag_{0.88}Cu_{0.11}Pb_{0.01}$
91.98	»	4.97	3.05	$Ag_{0.9}Cu_{0.08}Pb_{0.02}$
94.49	»	5.51	не обн.	$Ag_{0.91}Cu_{0.09}$
92.77	»	4.62	2.61	$Ag_{0.91}Cu_{0.08}Pb_{0.01}$
94.15	»	5.85	не обн.	$Ag_{0.9}Cu_{0.1}$
90.02	»	6.36	3.62	$Ag_{0.88}Cu_{0.1}Pb_{0.02}$
94.04	»	5.96	не обн.	$Ag_{0.9}Cu_{0.1}$
89.99	»	6.81	3.2	$Ag_{0.87}Cu_{0.11}Pb_{0.02}$
95.06	»	4.94	не обн.	$Ag_{0.92}Cu_{0.08}$

Note: не обн. — not detected



**Рис. 26.** ЭД-спектр, полученный от вещества второго фрагмента височного кольца

**Fig. 26.** ED spectrum obtained from the substance of the second fragment of the temporal ring

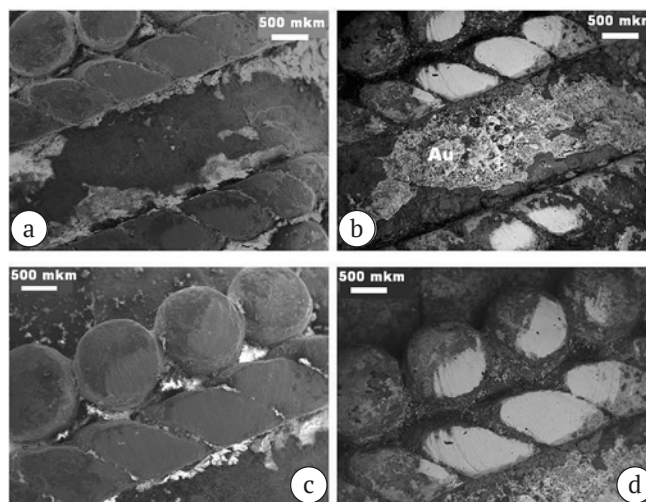
**12. Бочонковидная бусина от височного кольца** длиной 21 мм, максимальным диаметром 10 мм (рис. 27), сложного внутреннего строения (рис. 28). В основной массе состоит из серебра с пробой в пределах 907–941 ( $933 \pm 12$ ) ‰ и составом  $Ag_{0.91-0.94}Au_{0.01}Cu_{0.02-0.06}Pb_{0.01-0.02}$  (рис. 29, табл. 14). На поверхности изделия проба снижается до 430–650 ( $570 \pm 122$ ) ‰ вследствие резкого возрастания содержания примесей — от  $Ag_{0.43-0.65}Cu_{0.06-0.27}Cl_{0-0.27}S_{0-0.03-0.29}$  до  $Cu_{0.63}Ag_{0.01}Cl_{0.32}S_{0.03}$ . Особенностью проанализированной бусины является присутствие на ней участков позолочения с составом  $Au_{0.83-0.89}Ag_{0.07-0.19}Hg_{0.01-0.06}Cu_{0-0.02}$ , что указывает на использование не только технологии позолочения, но и амальгамирования. Как известно, позолочение поверхности серебряных украшений используется в целях предотвращения окисления серебра. В настоящее время используется жидкостная технология гальванического покрытия, в средневековье применялось, похоже,

нанесение на поверхность бусины расплава золота, который в силу более высокой температуры подплавлял и серебро. Именно этим и можно объяснить примесь серебра в позолоте.



**Рис. 27.** Внешний вид бочонковидной бусины. Стрелкой показана сохранившаяся позолота на серебряной пластинке, соединяющей две полусферы

**Fig. 27.** External view of a barrel-shaped bead, the arrow shows the preserved gilding on the silver plate connecting the two hemispheres



**Рис. 28.** СЭМ-изображения бочонковидной бусины в режимах вторичных (а, с) и упругоотраженных (b, d) электронов. Au — микроучасток позолочения

**Fig. 28.** SEM images of a bead in secondary modes (a, c) and elastically reflected (b, d) electrons. Au — micro-section of gilding

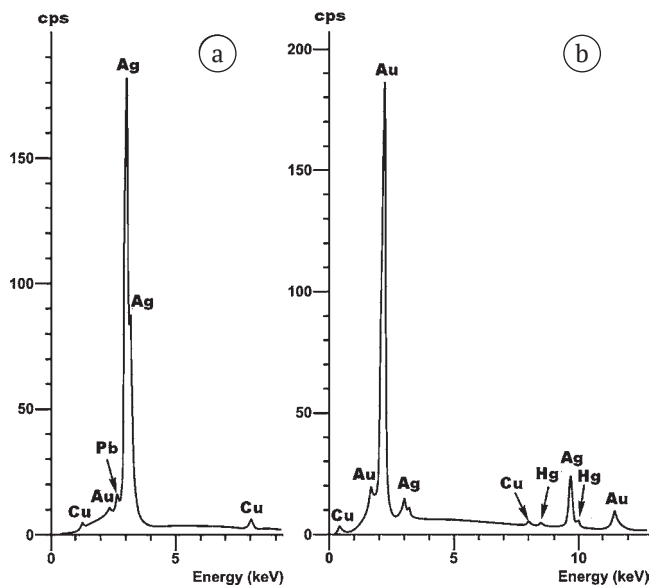


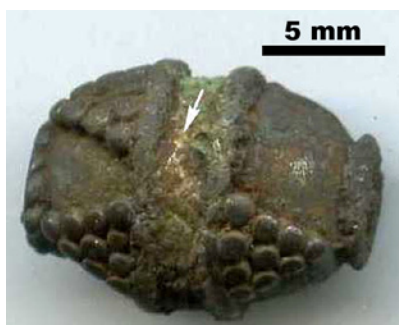
**Таблица 14.** Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы вещества основной массы (1–7), на микроучастках золочения (8–13) и на поверхности (14–16) бочонковидной бусины

**Table 14.** Chemical composition (wt.%) and empirical formulas of the substance main mass (1–7), in micro-areas of gilding (8–13) and on the surface (14–16) acorn beads

№ п/п	Au	Ag	Hg	Cu	Pb	S	Cl	Формулы / Formulas
1	1.31	94.1	не обн.	2.65	1.94	не обн.	не обн.	$Ag_{0.94}Au_{0.01}Cu_{0.04}Pb_{0.01}$
2	1.38	93.71	»	3.26	1.65	»	»	$Ag_{0.93}Au_{0.01}Cu_{0.05}Pb_{0.01}$
3	1.43	93.1	»	3.27	2.2	»	»	$Ag_{0.92}Au_{0.01}Cu_{0.06}Pb_{0.01}$
4	1.33	94.0	»	3.12	1.55	»	»	$Ag_{0.93}Au_{0.01}Cu_{0.05}Pb_{0.01}$
5	1.24	93.45	»	3.76	1.55	»	»	$Ag_{0.92}Au_{0.01}Cu_{0.02}Pb_{0.01}$
6	1.04	90.74	»	3.82	4.4	»	»	$Ag_{0.91}Au_{0.01}Cu_{0.06}Pb_{0.02}$
7	1.68	93.98	»	2.22	2.12	»	»	$Ag_{0.94}Au_{0.01}Cu_{0.04}Pb_{0.01}$
8	91.68	4.98	2.56	0.78	не обн.	не обн.	не обн.	$Au_{0.87}Ag_{0.09}Hg_{0.02}Cu_{0.02}$
9	87.29	6.11	6.6	не обн.	»	»	»	$Au_{0.83}Ag_{0.11}Hg_{0.06}$
10	91.77	5.88	1.61	0.74	»	»	»	$Au_{0.86}Ag_{0.19}Hg_{0.02}Cu_{0.02}$
11	88.93	4.5	6.57	не обн.	»	»	»	$Au_{0.86}Ag_{0.08}Hg_{0.06}$
12	92.58	5.54	1.88	»	»	»	»	$Au_{0.89}Ag_{0.1}Hg_{0.01}$
13	92.96	4.26	2.23	0.55	»	»	»	$Au_{0.89}Ag_{0.07}Hg_{0.02}Cu_{0.02}$
14	не обн.	63.1	не обн.	22.9	не обн.	1.27	12.73	$Ag_{0.43}Cu_{0.27}Cl_{0.27}S_{0.03}$
15	»	84.61	»	4.39	»	11.0	не обн.	$Ag_{0.65}Cu_{0.06}S_{0.29}$
16	не обн.	1.43	не обн.	73.54	2.35	1.98	20.7	$Cu_{0.63}Ag_{0.01}Cl_{0.32}S_{0.03}$

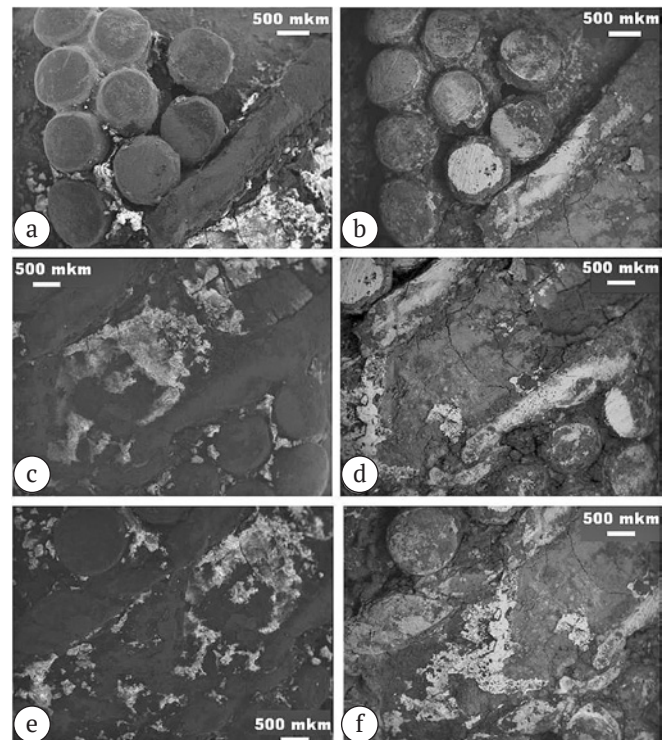
Note: не обн. — not detected.


**Рис. 29.** ЭД-спектры, полученные от основной массы (а) и участков позолочения (б) в бочонковидной бусине

**Fig. 29.** ED spectra obtained from the main mass (a) and gold-plated areas (b) in barrel bead

**Рис. 30.** Внешний вид желудевидной бусины, стрелкой показан участок позолочения

**Fig. 30.** Appearance of an acorn-shaped bead, arrow gold plated area shown

**13. Желудевидная бусина с филигранью.** Сложно скульптурированное серебряное украшение длиной 15 см и максимальным диаметром 11 см (рис. 30, 31). Проба серебра в основной массе составляет 890–970 ( $946 \pm 23$ ) ‰, состав —  $Ag_{0.89-0.96}Au_{0-0.01}Cu_{0.02-0.1}Fe_{0-0.09}$  (рис. 32, табл. 15). Выявлены участки позолочения с составом  $Au_{0.68-0.74}Ag_{0.16-0.24}Hg_{0-0.08}Cu_{0-0.08}$ . На поверхности исследованной бусины выявлена микро-


**Рис. 31.** СЭМ-изображения внутреннего строения желудевидной бусины в режимах вторичных (а, с, е) и упруго-отраженных (б, д, ф) электронов

**Fig. 31.** SEM images of the internal structure of an acorn bead in the modes of secondary (a, c, e) and elastically reflected (b, d, f) electrons

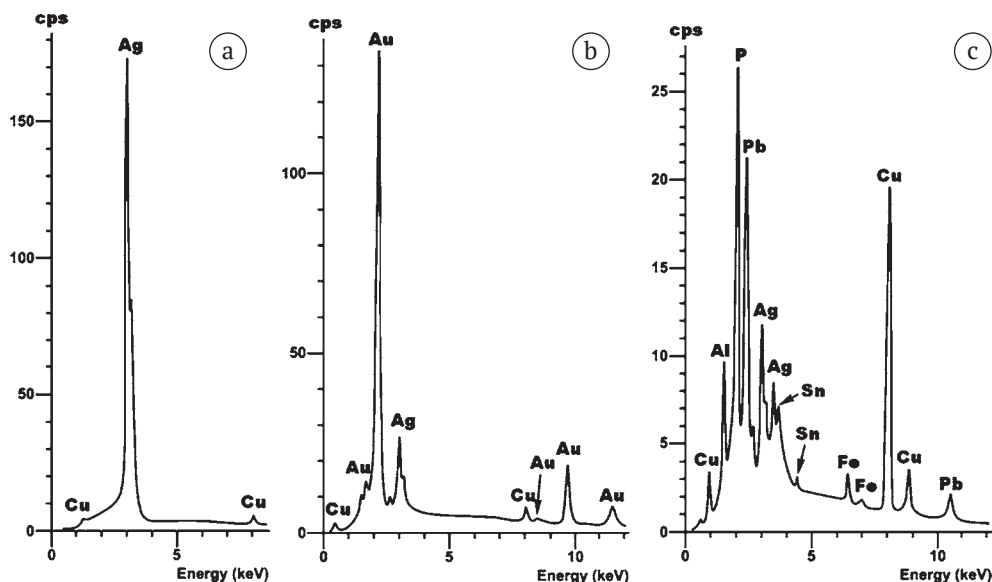


Рис. 32. ЭД-спектры, полученные от основной массы (а), участков позолочения (б) и поверхностной микрокорки (с) в желудевидной бусине

Fig. 32. ED spectra obtained from the main mass (a), gold-plated areas (b) and superficial microcrust (c) in an acorn-shaped bead

Таблица 15. Химический состав (мас. %) и эмпирические формулы вещества основной массы (1–9) и микроучастков золочения (10–23) в желудевидной бусине

Table 15. Chemical composition (wt.%) and empirical formulas substances of the main mass (1–9) and micro areas of gilding (10–23) in an acorn bead

№ п/п	Au	Ag	Hg	Cu	Fe	Формулы / Formulas
1	1.28	96.04	не обн.	2.68	не обн.	$Ag_{0.89}Au_{0.01}Cu_{0.1}$
2	0.9	95.73	»	2.32	1.05	$Ag_{0.94}Au_{0.01}Cu_{0.04}Fe_{0.09}$
3	0.71	96.33	»	2.96	не обн.	$Ag_{0.95}Au_{0.01}Cu_{0.04}$
4	1.11	97.44	»	1.45	»	$Ag_{0.97}Au_{0.01}Cu_{0.02}$
5	0.54	96.04	»	3.42	»	$Ag_{0.94}Cu_{0.06}$
6	2.27	96.38	»	1.35	»	$Ag_{0.96}Au_{0.01}Cu_{0.03}$
7	0.84	97.54	»	1.62	»	$Ag_{0.95}Au_{0.01}Cu_{0.04}$
8	0.52	96.74	»	2.74	»	$Ag_{0.95}Cu_{0.05}$
9	1.2	96.86	»	1.94	»	$Ag_{0.96}Au_{0.01}Cu_{0.03}$
10	83.97	11.89	2.21	1.93	не обн.	$Au_{0.74}Ag_{0.19}Cu_{0.05}Hg_{0.02}$
11	80.57	9.92	6.78	2.73	»	$Au_{0.71}Ag_{0.16}Cu_{0.07}Hg_{0.06}$
12	80.7	11.31	6.6	1.39	»	$Au_{0.72}Ag_{0.18}Cu_{0.04}Hg_{0.06}$
13	81.35	15.8	не обн.	2.85	»	$Au_{0.68}Ag_{0.24}Hg_{0.08}$

Note: не обн. — not detected.

пленка окисления состава окисвинцово-оксиоловянно-оксимедно-окисеребряного состава (мас. %):  $CuO = 35.62–32.84$ ;  $Ag_2O = 31.02–38.71$ ;  $SnO_2 = 6.27–5.95$ ;  $PbO = 9.19–23.12$ ;  $Al_2O_3 = 1.91–9.45$ ;  $Fe_2O_3 = 0.92–0$ ;  $P_2O_5 = 15.06–19.93$ .

Сопоставление данных исследования вышеохарактеризованных бусин приводит к следующему заключению. По форме, пробе серебра во внутренней своей части и факту позолочения поверхности бусины аналогичны. В химическом составе серебра они различаются только примесью железа в бочонковидной бусине, но при этом в обоих случаях серебро является золотосодержащим. Существенное несовпадение бусин обнаруживается в двух качествах. Во-первых, они принципиально различаются по составу своей поверхности — в бочонковидной бусине наблюдается неокисленное серебро с резко пониженной пробой, а в желудевидной бусине на поверхности по серебру разви-

вается микрокорка окисления. Во-вторых, в составе позолоты на поверхности бочонковидной бусины присутствует примесь ртути, а в случае желудевидной бусины амальгамирование позолоты не обнаружено. Не исключено, что бусины имеют разное происхождение.

### Обсуждение результатов и выводы

Большинство проанализированных предметов погребального инвентаря входит в хронологическую группу, датируемую в вымских могильниках XII–XIII вв. (Савельева, 1987). Монетовидные подвески с крестовидным узором в центре встречаются в Новгороде в слоях от 1134 до 1299 г. (Седова, 1981; Лесман, 1988). Филигранная серебряная бляшка-подвеска находит прямые аналогии в средневековых памятниках Прикамья (Зыков и др., 1994). На вымских могильниках аналогичные бляшки появляются в середине XII века

(Савельева, 1987). Бусы — зонные, бочонковидные — также входят в хронологическую группу бус, датируемых XII—XIII вв. (Захаров, Кузина, 2008; Захаров, Макаров, 2008). Бронзовая лапчатая подвеска с отверстием находит многочисленные аналогии на средневековых памятниках Нижнего Приобья (Зыков и др., 1994). Из этого хронологического ряда выбивается лишь латунный грушевидный бубенчик с крестовидной прорезью. В Новгороде аналогичные бубенчики с орнаментированной косой насечкой в нижней части датируются X — серединой XII в. (Лесман, 1988).

Таким образом, наиболее вероятной датой погребения № 59 является середина XII — первая половина XIII вв.

Согласно полученным экспериментальным данным, среди цветных металлов в исследованных нами изделиях резко преобладают бронзы, подразделяющиеся по составу на три разновидности — низко-, умеренно- и высокооловянистую с содержанием олова соответственно до 10, 10–20 и более 20 мас. %. Судя по соответствующей фазовой диаграмме системы сплавов Cu–Sn (Савельева и др., 2024), в этом ряду разновидностей бронз происходит снижение ликвидусной температуры в диапазоне 900–1000 °С, т. е. низкооловянистые бронзы являются наиболее высокотемпературными, а высокооловянистые, напротив, наименее высокотемпературными. Частоты встречаемости разновидностей бронзы в предметах из погребения № 59 составляют соответственно 39.1, 23.9 и 37 %. То есть в них резко преобладают (60.9 %) умеренно- и высокооловянистые бронзы — вероятный продукт переделки первичных низкооловянистых бронз. Как считается, получение обогащенных оловом бронз было практически выгодно, поскольку такие бронзы лучше полировались (Кузьминых, 1983).

Для сравнения можно отметить следующее. В наиболее древних предметах из погребений Юванаягского могильника V–VI вв. резко преобладают (76 %) первичные низкооловянистые бронзы (Ашихмина, Филиппов, 2005). В примерно одновозрастном с пог. № 59 погребении № 115 на Кокпомьягском могильнике (Савельева и др., 2024) соотношение первичных низкооловянистых и вторичных умеренно высокооловя-

нистых бронз в изделиях примерно одинаково при тем не менее различающихся вариациях состава всех разновидностей (рис. 33). Из этого факта можно сделать два вывода: во-первых, выявляется хронологическая тенденция перехода от низкооловянистых бронз к высокооловянистым, во-вторых, этот переход, скорее всего, имеет отношение к аборигенным пермвычегодским металлургам, о чем свидетельствует нетождественность изделий по составу в разных пространственно и хронологически близких погребениях.

Важной особенностью внутреннего строения исследованных бронз является постоянное присутствие в них варьирующихся по составу металлических микровключений, которые, очевидно, обусловлены использованными технологиями. В бронзах изделий из пог. № 59 упомянутые микровключения подразделяются по составу на Pb–Cu, Pb–Cu–Sn, Pb–Cu–S, Pb–Cu–Sn–As–Sb–S. В бронзах изделий из погребения № 115 аналогичные микровключения имеют Pb–Cu–Sn–S, Pb–Cu–Sn–Bi–Sb–S, Pb–Cu–Ag–Sn–Bi–S и Cu–Pb–Sn–Zn–Ni–S состав. Из приведенного видно, что микровключения в бронзах из разных близковозрастных погребений перми вычегодской тоже не тождественны. Это усиливает аргументы именно в пользу аборигенного происхождения изученных предметов.

В исследованную группу цветнометалльных изделий и украшений кроме бронз входят два предмета медного и латунного состава. Последний факт особенно удивителен, поскольку в эпоху XI–XIV вв. на рассматриваемой территории латунные изделия вообще были большой редкостью, особенно на фоне раннего средневековья. Так, в курганных погребениях пришлое кочевое население IV–VI вв. в Повеячегодье среднее отношение латунных предметов к бронзовым составляет 1.4 (Ашихмина, Филиппов, 2005), а в гораздо более поздних погребениях перми вычегодской (пог. № 115) оно скачкообразно сократилось до 0.14, т. е. на порядок (Савельева и др., 2024). В рассматриваемом случае пог. № 59 частоту встречаемости латуни можно оценить всего в 0.08–0.1. При этом мы имеем дело с Sn-содержащей латунью, в которой цинк составляет 5–8 ат. %. Температуру ликвидуса для такого сплава можно оценить в 1080–1085 °С.

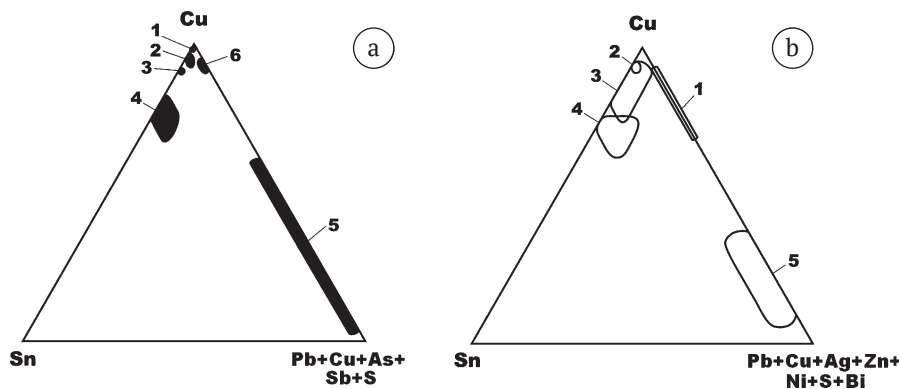


Рис. 33. Треугольные диаграммы химического состава цветнометалльных фаз в исследованных изделиях и украшениях из погребений № 59 (а) и 115 (б) Кокпомьягского могильника: 1 — самородная медь; 2–4 — бронзы соответственно низко-, умеренно-, высокооловянистые; 5 — металлические включения в бронзах; 6 — латунь

Fig. 33. Triangular diagrams of the chemical composition of non-ferrous metal phases in the studied items and decorations from burials No. 59 (a) and No. 115 (b) of the Kokpomnyag burial ground: 1 — native copper; 2–4 — bronzes, respectively, low-, moderate-, high-tin; 5 — metal inclusions in bronzes; 6 — brass



В составе исследованных нами серебряных украшений преобладает высокопробное серебро, в целом варьирующееся по пробе в диапазоне 860–1000 ‰. В качестве примесей в нем выступают Au, Cu, Pb, Mg, P, S, Cl. В некоторых образцах установлены следы припоя Ag-Sn-Cu-состава, температура плавления которого не превышала 650 °С, и позолочения с атомным содержанием золота в пределах 68–89 ‰. Последнее, как известно, использовалось и продолжает использоваться для предотвращения окисления серебра на поверхности соответствующих украшений. Не исключено, что именно позолочение средневековых серебряных предметов и объясняет тот факт, что на них гораздо реже, чем на бронзовых, обнаруживаются микрочастицы окисления.

Есть основания считать, что большинство исследованных нами изделий из погребения № 59 является продукцией местных литейщиков. Исключение составляют единичные импортные украшения. К ним относятся монетовидная бронзовая подвеска древнерусского происхождения, серебряные скано-зернёные филигранные бляшки, которые, судя по новейшим исследованиям технологии их изготовления, наиболее вероятно, являются продукцией прикамских ювелиров. Такие бляшки находят аналогии на родановских памятниках, которые большинством исследователей ранее считались изделиями болгарских мастеров (Белавин, 2000). Однако в ходе активных раскопок в Прикамье было выявлено несколько независимых ювелирных центров со своими традициями и технологическими приемами, что позволило выделить характерные особенности серебряных ювелирных изделий, изготовленных именно прикамскими местными мастерами. К. А. Руденко (Руденко, 2015) на основе результатов сравнительного анализа технологических особенностей болгарских, прикамских и вымско-вычегодских серебряных изделий сделал вывод о том, что большинство вымско-вычегодских серебряных зернофилигранных украшений по своему типу имеет прикамское, а не болгарское происхождение. Эта точка зрения в настоящее время разделяется и другими исследователями (Подосенова, 2021). Хотя наряду с прикамскими на памятниках вымской культуры перми вычегодской встречаются и серебряные украшения болгарского производства, в частности зернофилигранная желудевидная бусина в погребении № 59.

Основываясь на результатах проведенных нами исследований, а также на находках серебряных сплесков, капель и слитков серебра в вымско-вычегодских могильниках, мы не исключаем значительной роли здесь и местных изделий. Очень вероятно, что мастера перми вычегодской уже владели секретами не только бронзолитейного производства, включая получение разнообразных по составу вторичных бронз, но и ювелирного серебрения с достижением весьма высокой пробы по серебру, с качественным сплавлением серебряных предметов и их эффективным позолочением в целях сбережения от окисления серебра на поверхности изделий.

Авторы благодарят Дину Владимировну Осипову за качественно выполненные рисунки археологических изделий.

## Литература / References

- Астахова И. С., Савельева Э. А. Бронзолитейное производство вычегодских пермян (по материалам нижневычегодского Чежтыягского могильника) // Вестник геонаук. 2022. № 4. С. 38–50. DOI: 10.19110/geov.2022.4.2
- Astakhova I. S., Savelyeva E. A. Bronze foundry production of Vychehda Permians (based on materials from the Nizhny Vychehda Chezhtyag burial ground). Vestnik of Geosciences, 2022, No. 4, pp. 38–50. DOI: 10.19110/geov.2022.4.2 (in Russian)
- Ашихмина Л. И., Филиппов В. Н. Рентгеновский микрондовый (спектральный) анализ металлических изделий курганных могильников в бассейне реки Вычегды // Археоминералогия и ранняя история минералогии: Материалы международного семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2005. С. 47–51.
- Ashikhmina L. I., Filippov V. N. X-ray microprobe analysis (spectral) analysis of metal products from burial mounds in the Vychehda River basin. Archaeomineralogy and early history of mineralogy: Proceedings of the International Seminar. Syktyvkar: Geoprint, 2005, pp. 47–51. (in Russian)
- Белавин А. М. Камский торговый путь. Средневековое Предуралье в его экономических и этнокультурных связях. Пермь: Изд-во Пермского гос. пед ун-та. 2000. 195 с.
- Belavin A. M. Kama trade route. Medieval Cis-Urals in its economic and ethnocultural connections. Perm: Perm State Pedagogical University Publishing House, 2000, 195 p. (in Russian)
- Захаров С. Д., Кузина И. Н. Изделия из стекла и стеклянные бусы // Археология севернорусской деревни X–XIII вв. М.: Наука, 2008. Том 2. С. 142–215.
- Zakharov S. D., Kuzina I. N. Glass products and glass beads. Archeology of the Northern Russian village of the 10th–13th centuries. Moscow: Nauka, 2008, V. 2, pp. 142–215. (in Russian)
- Захаров С. Д., Макаров Н. Д. Мининский археологический комплекс: хронология и динамика развития // Археология севернорусской деревни X–XIII вв. М.: Наука, 2008. Т. 2. С. 290–316.
- Zakharov S. D., Makarov N. D. Minin archaeological complex: chronology and dynamics of development. Archeology of the Northern Russian village of the 10th–13th centuries, V. 2. Moscow: Nauka, 2008, pp. 290–316. (in Russian)
- Зыков А. П., Кокшаров С. Ф., Терехова Л. М., Федорова Н. В. Угорское наследие. Древности Западной Сибири из собраний Уральского университета. Екатеринбург, 1994. 157 с.
- Zykov A. P., Koksharov S. F., Terekhova L. M., Fedorova N. V. Ugric heritage. Antiquities of Western Siberia from the collections of the Ural University. Yekaterinburg, 1994, 157 p. (in Russian)
- Кузьминых С. В. Металлургия Волго-Камья в раннем железном веке. М.: Наука, 1983. 256 с.
- Kuzminykh S. V. Metallurgy of the Volga-Kama region in the early Iron Age. Moscow: Nauka, 1983, 256 p. (in Russian)
- Лесман Ю. М. Хронология ювелирных изделий Новгорода (X–XIV вв.) // Материалы по археологии Новгорода. М.: Наука, 1988. С. 29–98.
- Lesman Yu. M. Chronology of jewelry in Novgorod (10th–14th centuries). Materials on the archeology of Novgorod. Moscow: Nauka, 1988, pp. 29–98. (in Russian)



- Подосенова Ю. А. Височные украшения средневекового населения Пермского Предуралья. Пермь: Изд-во ПГПУ-ПФИЦУ УрО РАН, 2021. 209 с.
- Podosenova Yu. A. Temple decorations of the medieval population of the Perm Cis-Urals. Perm: Publishing house of PSPU-PSC UB RAS, 2021, 209 p. (in Russian)
- Руденко К. А. Булгарское серебро. Казань: Заман, 2015. 528 с.
- Rudenko K. A. Bulgarian silver. Kazan: Zaman, 2015, 528 p. (in Russian)
- Савельева Э. А. Вымские могильники XI—XIV вв. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. 200 с.
- Savelyeva E. A. Vym burial grounds of the 11th—14th centuries. Leningrad: Leningrad State University Publishing House, 1987, 200 p. (in Russian)
- Савельева Э. А. Особенности погребений женщин-литейщиц на нижневычегодском Чезтыягском могильнике // Известия Коми НЦ УрО РАН. Серия «История и филология». 2023. № 1. С. 7—18. DOI: 10.19110/1994-5655-2023-1-7-18
- Savelyeva E. A. Features of the burials of female foundry workers at the Nizhny Vychegda Chezhtyyag burial ground. Proceedings of the Komi SC UB RAS. Series «History and Philology», 2023, No. 1, pp. 7—18. DOI: 10.19110/1994-5655-2023-1-7-18 (in Russian)
- Савельева Э. А., Силаев В.И., Филиппов В.Н., Хазов А.Ф. Цветные и благородные металлы в погребении № 115 Кокпомьягского могильника вымской культуры: археологический и археолого-минералогический аспекты // Известия Коми НЦ УрО РАН. Серия «История и филология». 2024. № 1. С. 22—34. DOI: 10.19110/1994-5655-2024-1-22-34
- Savelyeva E. A., Silaev V. I., Filipov V. N., Khazov A. F. Non-ferrous and precious metals in burial No. 115 of the Kokpomyyag burial ground of the Vym culture: archaeological and archaeological-mineralogical aspects. Proceedings of the Komi SC UB RAS. Series «History and Philology», 2024, No. 1, pp. 22—34. DOI: 10.19110/1994-5655-2024-1-22-34 (in Russian)
- Седова М. В. Ювелирные изделия древнего Новгорода. М.: Наука, 1981. 195 с.
- Sedova M. V. Jewelry of Ancient Novgorod. Moscow: Nauka, 1981, 195 p. (in Russian)
- Талицкий М. В. Верхнее Прикамье в X—XIV вв. // Материалы и исследования по археологии СССР. 1951. № 22. С. 33—96.
- Talitsky M. V. Upper Kama region in the 10th—14th centuries. Materials and research on the archeology of the USSR, 1951, No. 22, pp. 33—96. (in Russian)

Поступила в редакцию / Received 26.03.2024



## Литологическая характеристика колганской свиты юго-западной части Восточно-Оренбургского сводового поднятия

Н. С. Сагдеева

Институт геологии Уфимского ФИЦ РАН, Уфа, [sag-nyrija@mail.ru](mailto:sag-nyrija@mail.ru)

В работе на основе исследования кернового материала рассматриваются литологические особенности колганской свиты франского яруса юго-западной части Восточно-Оренбургского сводового поднятия. Данная свита является важным нефтегазовым объектом. С момента ее выделения осуществляется практически непрерывный комплекс поисково-разведочных работ, в результате которых поступает и обрабатывается значительный объем разнородного материала, дополняющего и расширяющего представления о геологическом строении и генезисе отложений. Исследования проводились петрографическими и литологическими методами. В результате по соотношению карбонатного и терригенного компонентов и структурно-текстурным особенностям выделено 5 литотипов. Установлено, что во всех выделенных литотипах преобладает карбонатная составляющая, что отличает данную свиту от других аналогичных разрезов, где преобладают терригенные породы. Характерно присутствие биотурбации разной степени интенсивности и наличие темпеститов.

**Ключевые слова:** франский ярус, колганская свита, литотипы, темпеститы, карбонаты, биотурбация

## Lithological characteristics of the Kolgan formation of the south-western part of the East Orenburg arch uplift

N. S. Sagdeeva

Institute of Geology FRC RAS, Ufa

Based on the study of core material, the lithological features of the deposits of the Kolgan formation of the Frasnian stage in the southwestern part of the East Orenburg arch uplift are considered. This formation is an important oil and gas play. Since picking, almost nonintermittent prospecting and exploration works have been carried out. A large bulk of heterogeneous material is received and processed, which complement and expand the knowledge of the geological structure and genesis of sediments. The research was carried out by petrographic and lithological methods. As a result, 5 lithotypes were identified according to the ratio of carbonate and terrigenous components and structural and textural features. It was found that the carbonate component prevailed in all the selected lithotypes, which distinguished this formation from other similar sections, where terrigenous rocks predominated. The presence of bioturbation of varying degrees of intensity and the presence of tempestites is characteristic.

**Keywords:** Frasnian stage, Kolgan formation, lithotypes, tempestites, carbonates, bioturbation

### Введение

Отложения колганской свиты являются важнейшим нефтегазовым объектом Оренбургской области, с которым связано 74.4 % объема углеводородов среднефранско-турнейского нефтегазоносного комплекса (Геологическое..., 1997; Космынин, Кузьмин 2013). Ее стратиграфическое положение, согласно палеонтологическим определениям, соответствует верхнефранскому-нижнефаменскому интервалу девонской системы (Ovnatanova, Kononova, 2008).

Впервые колганская стратиграфическая единица была выделена в 1972 г. в ранге толщи С. П. Макаровой. В результате накопленного значительного объема биостратиграфического и литологического материала в 2016 г. решением коллектива исследователей под руководством Н. К. Фортунатовой колганская толща была переведена в ранг свиты (Стратиграфическая..., 2016).

В целом данная свита представляет собой серию мощных (до 100 м) пачек терригенных пород среди

карбонатных отложений (Геологическое..., 1997; Космынин и Кузьмин, 2013). По мнению В. А. Космынина и Д. А. Кузьмина, терригенные породы, слагающие свиту, являются продуктом размыва островной суши в районе Соль-Илецкого свода и выполняют Колгано-Борисовский седиментационно-эрозионный прогиб (Космынин, Кузьмин, 2013).

Согласно действующей стратиграфической схеме, колганская свита подразделена на две неравнозначные по мощности подсвиты. Нижняя подсвита отвечает верхнефранскому подъярису и представлена песчаниками светло-серыми, зеленовато- и буровато-серыми, вишнево-бурными, кварцевого и полевошпат-кварцевого состава. Алевролиты и аргиллиты пиритизированы и характеризуются серой и зеленовато-серой, буроватой окраской. Алевролиты разномышечные, кварцевого и слюдисто-полевошпат-кварцевого состава отличаются разномышечностью, со слюдисто-глинистым и карбонатным цементом. Аргиллиты темно-серые,

**Для цитирования:** Сагдеева Н. С. Литологическая характеристика колганской свиты юго-западной части Восточно-Оренбургского сводового поднятия // Вестник геонаук. 2024. 4(352). С. 21–26. DOI: 10.19110/geov.2024.4.2

**For citation:** Sagdeeva N. S. Lithological characteristics of the Kolgan formation of the south-western part of the East Orenburg arch uplift. Vestnik of Geosciences, 2024, 4(352), pp. 21–26, doi: 10.19110/geov.2024.4.2

песчано-алевритистые, иногда битуминозно-углистые (Оренбургский..., 2013; Стратиграфическая..., 2016). Мощность нижней подсвиты 20 м.

Верхняя подсвита относится к нижнефаменскому подъярису и представлена отложениями терригенно-карбонатного и карбонатно-терригенного состава. Известняки в ее составе темно- и буровато-серые, пятнами светло-серые, органогенно-детритовые, микро- и тонкозернистые. Породы в различной степени доломитизированы и содержат примесь глинистого или алевритопесчаного материала, а также биокластику. Среди известняков часты прослои аргиллитов, песчаников, алевритистых песчаников. Мощность верхней подсвиты колеблется от 8.5 м в пределах Ольшанской площади до 93 м в пределах Шуваловской, что в среднем составляет 20–40 м (Оренбургский..., 2013).

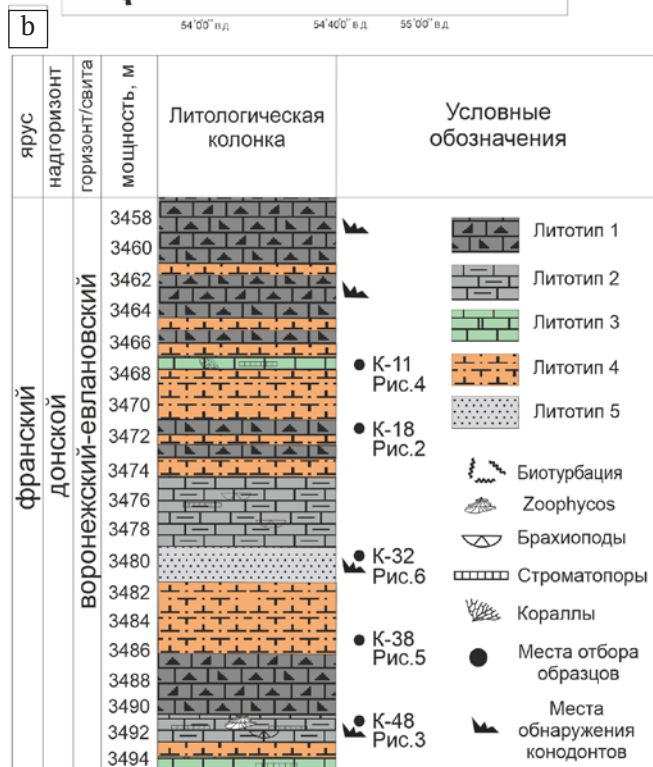
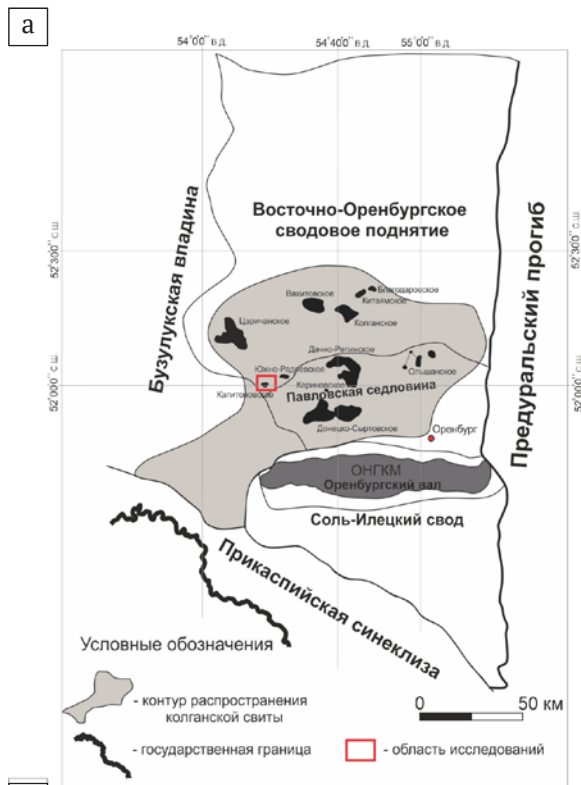
Восточно-Оренбургское сводовое поднятие (ВОСП) является локальной тектонической структурой 4-го порядка Восточно-Европейской платформы, граничащей с востока со структурой 2-го порядка — Предуральским краевым прогибом (рис. 1). ВОСП относится к структурно-фациальной зоне развития Камско-Кинельской системы прогибов. Многолетними исследованиями установлено, что именно в пределах ВОСП локализуется колганская свита (Геологическое..., 1997; Оренбургский..., 2013).

Таким образом, колганская свита характеризуется широкими горизонтальными и вертикальными колебаниями состава и строения. Кроме того, она нефтегазоносна (Ovnatanova, Kononova, 2008). В связи с этим на протяжении продолжительного интервала времени осуществляется практически непрерывный комплекс поисково-разведочных работ в районе локализации свиты. В результате продолжает поступать и обрабатываться значительный объем разнородного (геофизического, петрофизического, литологического, биостратиграфического) материала, дополняющего и расширяющего представление о геологическом строении и генезисе пород свиты. В результате анализа опубликованных материалов в настоящей статье приводится актуальная на момент публикации схема распространения геологического тела колганской свиты в пределах ВОСП (рис. 1).

Цель настоящей работы — описать особенности литологического состава и строения верхнефранского интервала колганской свиты в пределах юго-западной части ВОСП на основе исследования кернового материала.

### Методы и материалы

Методы исследования включают анализ опубликованных материалов, изучение литологического состава и строения пород для выделения основных литотипов на основе седиментационных и постседиментационных признаков в пределах юго-западной части ВОСП. Рассматриваются результаты исследования кернового материала скважины, предоставленного ООО «Газпром-Оренбург». Общая протяженность исследованного непрерывного интервала керна скважины — 36 м (100 % выхода керна). Оттуда по мере смены литологических признаков, примерно через каждые 0.5 м, были отобраны 50 образцов и выполнено описание 50 шлифов.



**Рис. 1.** Контур распространения колганской свиты (а). На схеме отображено положение нефтяных месторождений (черные пятна), где отложения колганской свиты являются коллектором (Оренбургский..., 2013). Литологостратиграфическая колонка изученного интервала скважины колганской свиты (б). ОНГКМ — Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение

**Fig. 1.** The contour of the distribution of the Kolgan formation (a). The scheme shows the position of oil fields (black spots) making a reservoir of the Kolgan formation (Orenburg..., 2013). Lithological-stratigraphical column of the well interval of the Kolgan formation (b). ONGKM — Orenburg oil and gas condensate field



Описание пород произведено на основе системного анализа и номенклатуры, разработанных В. Т. Фроловым (Фролов, 1993). Исследуемый разрез характеризуется весьма сложным строением, связанным с тем, что на генетическом уровне одновременно с процессом литификации породы подвергались активному воздействию специфических гидродинамических процессов. В результате сформировался смешанный состав отложений с характерными структурно-текстурными особенностями.

Микроскопическое описание выполнено на основе терминологии Э. Флюгеля и Р. Д. Данхэма (Flügel, 2010; Dunham, 1962), которая широко используется исследователями для разграничения карбонатных отложений на основе количественного соотношения первичных структурных компонентов породы, в первую очередь зерен, реликтов организмов и карбонатного ила.

### Литологическая характеристика

На исследуемом участке бурением вскрыты отложения, стратиграфически приуроченные к воронежско-евлановскому горизонту верхнего франа, согласно палеонтологическими определениями А. А. Горячевой (палинологический комплекс) и О. В. Артюшковой (конodontы).

Разрез сложен терригенно-карбонатными, терригенными и карбонатными разностями. В результате макро- и микроскопического описания пород было выделено 5 основных литотипов. Контакт между выделенными литотипами и подстилающими отложениями резкий.

Признаками выделения литотипов является соотношение литологического состава, структурно-текстурных особенностей пород, фаунистических включений и степень подверженности постседиментационным процессам, в частности доломитизации.

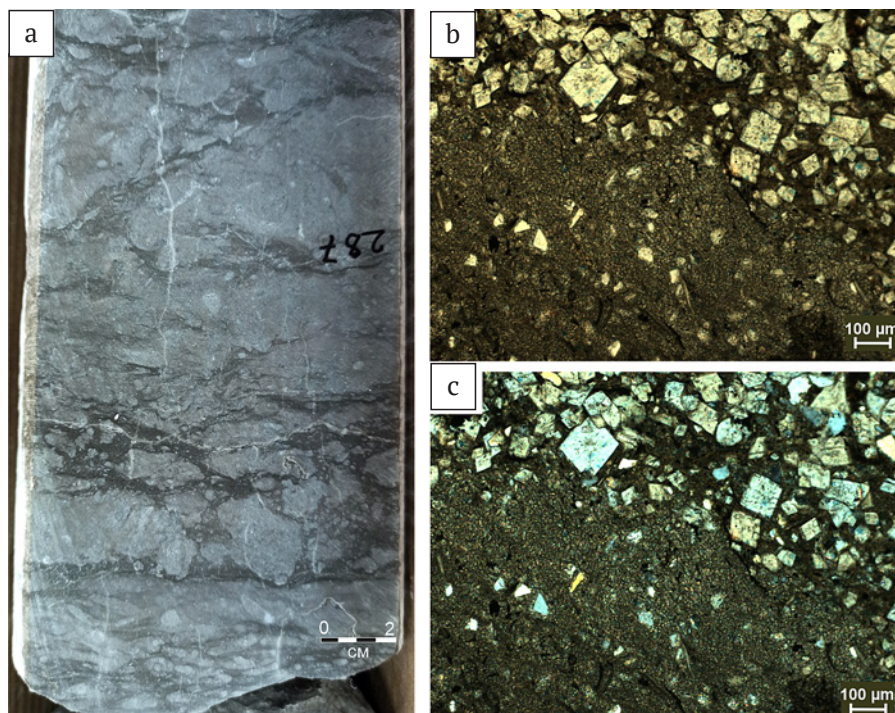
**Литотип 1.** Известняки нодулярного строения с доломитизированным битуминозным микритовым

матриком темно-серого цвета (рис. 2), слабоалевритистые. Нодули диаметром от 2 до 6 см представлены вакстоуном с небольшой примесью алевритовых зерен кварца угловатой и овальной формы. Матрикс сложен микритом с большим количеством рассеянных кристаллов доломита эвгедральной формы и небольшой примесью алевритового кварца (рис. 2). В породе фиксируются многочисленные вертикальные ходы илоедов, но для диагностики они имеют плохую сохранность. Мощность слоев данного литотипа варьирует от 1.0 до 4.0 м. Среди постседиментационных проявлений следует отметить распространение кристаллов доломита в матриксе и нодулях. По объёму в матриксе содержится более 60 % кристаллов доломита, а в нодулях этот минерал встречается редко. Контакт микритового нодуля и доломитизированного матрикса показан на фото (рис. 2, б).

**Интерпретация:** вероятно, брекчированный облик породы приобретает в результате нарушенного первичного строения, которое, судя по тому, что известняковые фрагменты и матрикс аналогичны по литологическому составу, образовались «на месте», без механического переноса в пределах бассейна осадконакопления.

**Литотип 2.** Ритмичное переслаивание известняка светло-серого, брахиоподового, доломитизированного и темно-серого, почти черного алевритистого аргиллита. В верхней части разреза данного литотипа, в алевритистых аргиллитах, отмечены четкие ихноходы *Zoophycos*.

Литотип представлен двумя петротипами. Первый: светлые карбонатные прослои мощностью до 4 см сложены рудстоуном, где пространство между раковинами заполнено кристаллами доломита субгедральной формы, составляющими более 50 % породы. Второй: прослои темно-серых, почти черных алевритистых аргиллитов содержат примесь кварцевых окатанных зерен (примерно до 20 % от породы), кристаллов доломита эвгедральной формы (примерно 5 %) и редких фрагментов раковин брахиопод (рис. 3). Максимальная мощность литотипа 1.0 м.



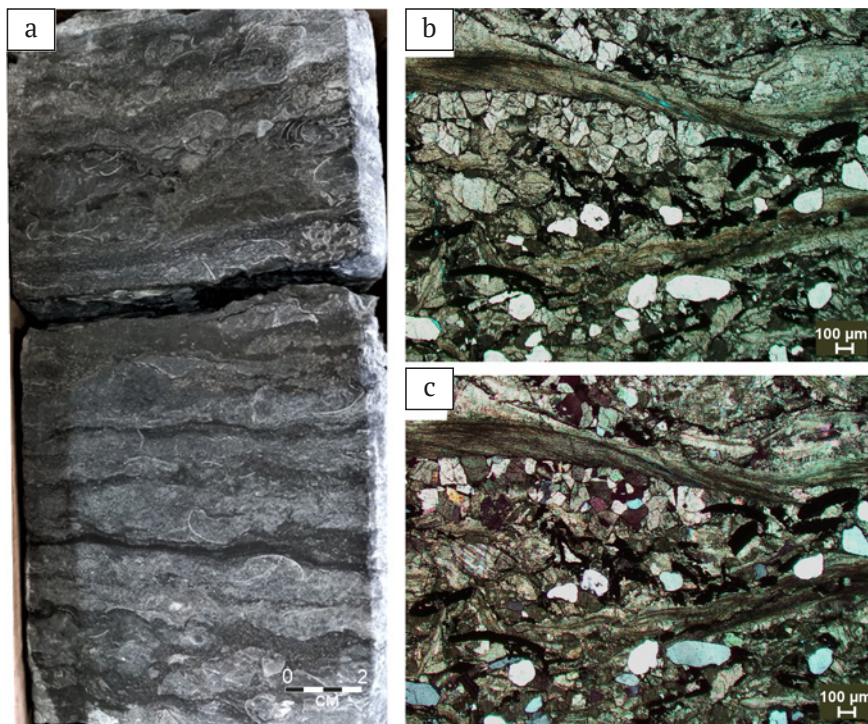
**Рис. 2.** Известняк нодулярный: а — фрагмент ядерного материала; б — контакт микритового нодуля (вакстоуна) с доломитизированным матриксом (шлиф, николи //); с — то же, николи +, линейка 0.2 мм

**Fig. 2.** Breccia-shaped, autobrecciated limestone: а — a fragment of core material; б — contact of a micrite nodule (wackestone) with a dolomitized matrix (thin section, nicoli //); с — the same, nicoli +, ruler 0.2 mm



**Рис. 3.** Ритмичное чередование светло-серых брахиоподовых прослоев и темно-серых, почти черных алевритистых аргиллитов: а — фрагмент ядерного материала, б — рудстоун доломитизированный, сложенный раковинами брахиопод в доломитизированном матриксе с примесью окатанных кварцевых зерен (шлиф, николи //); с — то же (николи +)

**Fig. 3.** Rhythmic alternation of light gray brachiopod interlayers and dark gray, almost black silty mudstones: a — fragment of core material; b — dolomitized rudstone composed of brachiopod shells in a dolomitized matrix with an admixture of rolled quartz grains, (thin section, nicoli //); c — the same (nicoli +)

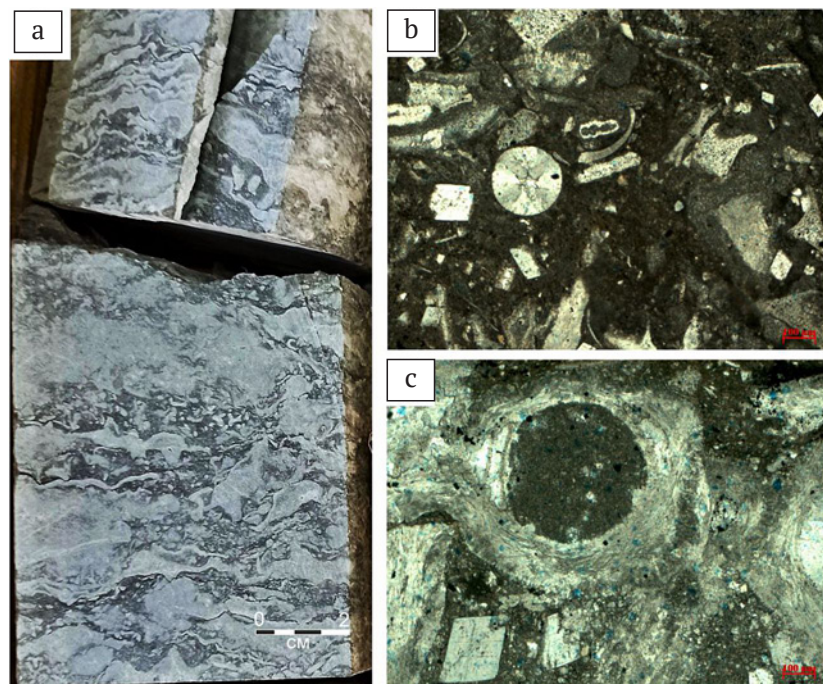


Светло-серые карбонаты повсеместно подвержены вторичной доломитизации. Первичный матрикс полностью замещен кристаллами доломита. Пустотно-поровое пространство между кристаллами и изредка встречающимися выщелоченными полостями заполнено битумом. Алевритистые аргиллиты битумизированы.

**Интерпретация:** ритмичное чередование прослоев и смешанный литологический состав обусловлен высокой гидродинамической активностью бассейна осадконакопления.

**Литотип 3.** Представлен биогермным кораллово-строматопоровым известняком. Прослои данного литотипа встречаются среди нодулярно-слоистых известняков литотипа 1 и среди темно-серых тонкокристаллических глинисто-алевритистых известняков.

Микроскопически породы представлены строма-топорово-коралловыми баунстоуном, рудстоуном и вакстоуном с доломитизированным матриксом.



Кристаллы доломита эвгедральной формы составляют до 20 % массы породы (рис. 4). Мощность слоев от 40 см до 1.0 м. Породы повсеместно доломитизированы. Микритовый матрикс содержит кристаллы доломита эвгедральной формы.

**Интерпретация:** обилие реликтов строматопор и кораллов указывает на биогермное происхождение литотипа. Так как реликты имеют обрывчатый и смешанный облик, вероятно, в исследуемой породе представлен фрагмент биогерма, перенесенного с места исходного залегания в результате активной гидродинамической деятельности.

**Литотип 4.** Переслаивание песчаных известняков, мелкозернистых кварцевых алевролитов и известкового алевролита с примесью кварца до 25 %. Алевролит состоит из зерен кварца в карбонатном цементе. Известняк песчаный содержит окатанные зерна кварца в глинисто-карбонатном матриксе (рис. 5).

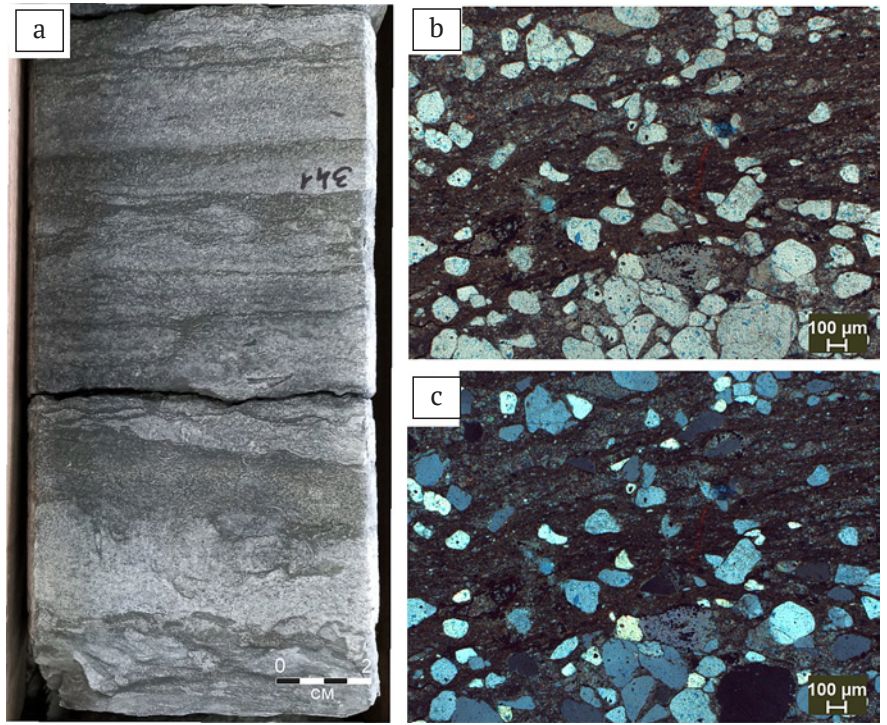
**Рис. 4.** Известняк кораллово-строматопоровый: а — фрагмент ядерного материала; б — вакстоун-пакстоун с мелкой биокластикой — матрикс кораллово-строматопорового рудстоуна (шлиф, николи //); с — кораллово-строматопоровый баундстоун с доломитизированным темным матриксом (с кристаллами доломита эвгедральной формы) (шлиф, николи //)

**Fig. 4.** Coral-stromatopororous limestone: a — a fragment of core material; b — wackestone-packstone with fine bioclastic — matrix of coral-stromatopororous rudstone (thin section, nicoli //); c — coral-stromatopororous boundstone with dolomitized dark matrix (with euhedral dolomite crystals) (thin section, nicoli //)



**Рис. 5.** Известняк песчаный ритмично-слоистый: а — фрагмент kernового материала; b — известняк песчано-глинистый с кварцевыми зёрнами в неявно-слоистом глинисто-микросталлическом матриксе (шлиф, николи //); с — то же (николи +)

**Fig. 5.** Sandy, rhythmically layered limestone: a — a fragment of core material; b — sandy-clay limestone with quartz grains in an obscurely layered clay-microcrystalline matrix (thin section, nicoli //); c — the same (nicoli +)



*Интерпретация:* в породе наблюдается переслаивание принципиально различных по происхождению терригенных и карбонатных компонентов. Судя по хорошо окатанной форме зёрен кварца в песчаных известняках, происходил снос терригенного осадка в морских условиях осадконакопления под воздействием высокой гидродинамической активности. Этим объясняется параллельная слоистость, различная мощность прослоев, резкий контакт с подстилающими отложениями.

Мощность слоев данного литотипа до 1.0 м.

**Литотип 5.** Песчаник кварцевый, средне- и мелкозернистый, среднесортированный, с известковым цементом. Порода содержит реликты раковин и многочисленные субгоризонтальные и субвертикальные ходы илоедов недостаточной для диагностики степени сохранности. Текстура пятнисто-слоистая, подчеркнутая неравномерным нефтенасыщением (рис. 6).

*Интерпретация:* хорошо окатанные зёрна кварца в карбонатном цементе, вероятно, связаны с массо-

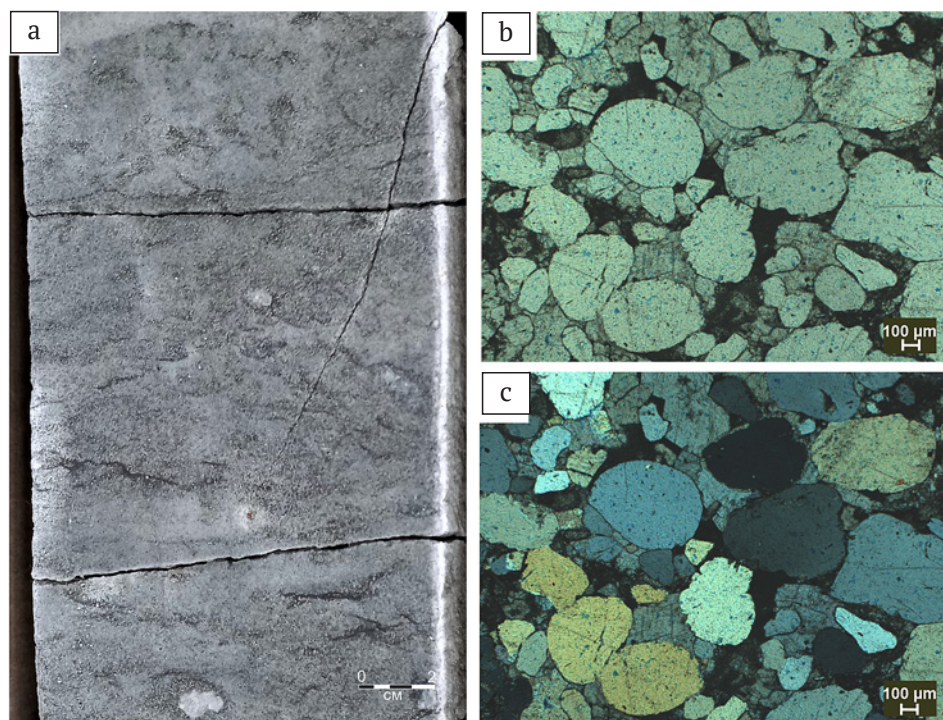
вым привнесом терригенного материала в зону карбонатного шельфа в период осадконакопления.

Мощность слоев данного литотипа от 1.0 до 3.0 м.

### Выводы

Приведенная литологическая характеристика отложений колганской свиты по керну скважины, пробуренной в пределах юго-западной части ВОСП, подтверждает сведения о неоднородном — карбонатном и терригенном — составе свиты, а также позволяет уточнить структурно-фациальную позицию этих отложений.

Темпеститовые признаки проявлены во всех выделенных литотипах. Это параллельная или косая слоистость отложений (например, у литотипов 2 и 4), массовые скопления (сгружения) отсортированных целых раковин хорошей степени сохранности и измельченных обломков, случайная ориентация, породы, состоящие из пакстоуна и крупно-



**Рис. 6.** Песчаник кварцевый, пятнисто-слоистый: а — фрагмент kernового материала; b — песчаник кварцевый средне- и мелкозернистый, с кальцитовым цементом (шлиф, николи //); с — то же (николи +)

**Fig. 6.** Quartz, spotted-layered, bioturbated sandstone: a — a fragment of core material; b — fine-grained quartz sandstone with calcite cement (thin section, nicoli //); c — the same (nicoli +)

кристаллических разностей между раковинами (например, характерных для литотипа 2), резкий контакт с подстилающими отложениями. В темпеститах как индикаторы перерыва штормовых процессов распространены следы биотурбации, которые диагностируются практически во всех выделенных литотипах.

В разрезе выделяется 5 литотипов и отмечается переход от карбонатных брекчий с глинисто-алевритистым матриксом к известнякам биогермного генезиса и их обломкам и последующий переход к глинисто-алевритистым породам, алевролитам и кварцевым известковистым песчаникам, грубо- и среднезернистым, биотурбированным.

Строение колганской свиты юго-западной части ВОСП отличается от строения свиты, охарактеризованной в ранее опубликованных материалах, где описаны терригенные (песчано- и песчано-алевролитовый состав с подчиненными прослоями аргиллитов) породы с редкими прослоями известняков (Горожанина и др., 2010; Никитин и др., 2014). Для изученного разреза характерно преобладание карбонатных пород с постоянно присутствующей во всех литотипах терригенной примесью. Аналогичны по составу типичным песчаникам колганской свиты только породы литотипа 5.

Автор выражает благодарность Е. Н. Горожаниной и рецензентам за ценные замечания и рекомендации, ООО «Газпром-Оренбург» — за предоставленный скважинный материал. Работа выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских работ ИГ УФИЦ РАН по теме госзадания FMRS-2022-0010.

## Литература/ References

Геологическое строение и нефтегазоносность Оренбургской области. Оренбург: Оренбургское книж. изд-во, 1997. 272 с.

Geological structure and oil and gas potential of the Orenburg region. Orenburg: Orenburg Publishing House, 1997, 272 p. (in Russian)

Горожанина Е. Н., Побережский С. М., Горожанин В. М., Ефимов А. Г. Тектоническая модель седиментации верхнедевонской колганской толщи западной периклинали Оренбургского вала (по данным бурения) // Актуальные вопросы литологии: материалы литологического совещания. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2010. С. 82—84.

Gorozhanina E. N., Berezhsky S. M., Gorozhanin V. M., Efimov A. G. Tectonic model of sedimentation of the Upper Devonian Kolgan strata of the western pericline

of the Orenburg shaft (according to drilling data). Topical issues of lithology: proceedings of the lithological meeting. Yekaterinburg: IGG UB RAS, 2010, pp. 82—84. (in Russian)

Космынин В. А., Кузьмин Д. А. Литофациальный анализ и оценка перспектив нефтегазоносности отложений колганской толщи юга Оренбургской области // Региональная геология и металлогения. 2013. № 56. С. 31—39.

Kosmynin V. A., Kuzmin D. A. Lithofacial analysis and assessment of the prospects of oil and gas potential of the deposits of the Kolgan formation in the south of the Orenburg region. Regional geology and metallogeny, 2013, No. 56, pp. 31—39. (in Russian)

Никитин Ю. И., Рихтер О. В., Вилесов А. П., Махмудова Р. Х. Структура и условия формирования колганской толщи на юге Оренбургской области // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9. № 2. С. 1—13. Nikitin Yu. I., Richter O. V., Vilesov A. P., Makhmudova R. H. Structure and conditions of formation of the Kolgan strata in the south of the Orenburg region. Oil and Gas Geology. Theory and practice, 2014, V. 9, No. 2, pp. 1—13.

Оренбургский тектонический узел: геологическое строение и нефтегазоносность / Под ред. Ю. А. Воложа, В. С. Парасыны. М.: Научный мир, 2013. С. 150—151. Orenburg tectonic junction: geological structure and petroleum potential. Edited by Yu. A. Volozha, V. S. Parasyana. Moscow: Scientific World, 2013, pp. 150—151. (in Russian)

Стратиграфическая схема верхнедевонских отложений Волго-Уральского субрегиона. Объяснительная записка. М.: ВНИГНИ, 2016. С. 43.

Stratigraphic scheme of the Upper Devonian sediments of the Volga-Ural sub-region. Explanatory note. Moscow: VNIGNI, 2016, p. 43. (in Russian)

Фролов В. Т. Литология: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1993. Кн. 2. 432 с.: ил.

Frolov V. T. Lithology: Textbook. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1993, book 2, 432 p.: ill. (in Russian)

Dunham R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture // Classification of carbonate rocks: Simp. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. / Ed. W. E. Ham. 1962. V. 1. P. 108—121.

Flügel E. Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and applications, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York, 2010. — 984 pp.

Ovnatanova N. S., Kononova L. I. Frasnian Conodonts from the Eastern Russian Platform // Paleontological Journal, 2008, Vol. 42, No. 10, pp. 997—1166.

Поступила в редакцию / Received 24.01.2024

# Концентрационные потоки. 230 лет в кристаллогенетической повестке

А. М. Асхабов

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, askhabov@geo.komisc.ru

Кратко изложена история открытия и изучения концентрационных потоков, сопровождающих рост и растворение кристаллов в растворах. Указывается на разнообразные кристаллогенетические следствия, связанные с концентрационными потоками (изменение механизмов транспорта вещества к растущему кристаллу, различия в росте верхних и нижних граней, искажение формы кристалла, возникновение вокруг кристалла наряду с диффузионным гидродинамического пограничного слоя и др.). Особо анализируется явление концентрационной дифференциации (расслоения) раствора, которое происходит под воздействием концентрационных потоков. Определены критериальные условия дифференциации раствора при росте кристаллов.

**Ключевые слова:** *рост и растворение кристаллов, концентрационные потоки, дифференциация раствора в процессе роста кристалла, голографические и теневые методы наблюдения концентрационных потоков*

## Concentration flows. 230 years in the crystallogenic agenda

A. M. Askhabov

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

We briefly outlined the history of discovery and study of concentration flows accompanying the growth and dissolution of crystals in solutions. Various crystallogenic consequences associated with concentration flows (changes in the mechanisms of transport of matter to the growing crystal, differences in the growth of the upper and lower faces, distortion of crystal shape, occurrence of hydrodynamic boundary layer around a crystal together with the diffusion layer, etc.) were described. The phenomenon of concentration differentiation (stratification) of the solution under the influence of concentration flows was especially analyzed. The criteria conditions for differentiation of the solution during crystal growth were determined.

**Keywords:** *Growth and dissolution of crystals, concentration flows, differentiation of solution during crystal growth, holographic and shadow methods for observing concentration flows*

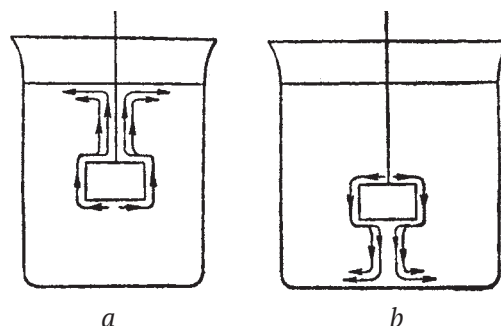
### Введение

Этой работой автор начинает серию публикаций, посвященных выдающимся открытиям и знаменательным датам в истории кристаллографии и кристаллогенезиса. В первом очерке речь идет о наблюдении концентрационных потоков — феноменальном явлении, которое можно наблюдать при росте и растворении кристаллов в растворах и которое имеет ряд очень важных для кристаллообразования следствий.

### Концентрационные потоки при росте и растворении кристаллов

Большинству из нас это явление хорошо известно по описанию в известном учебнике по кристаллографии Г. М. Попова и И. И. Шафрановского (1972). Суть его там описывается следующим образом: «При удачном освещении раствора с растущими в нем кристаллами можно обнаружить струйки, поднимающиеся от кристаллов к поверхности раствора (рис. 1, а). Эти струйки называются концентрационными потоками. Причины их возникновения заключаются в следующем. Соприкасаясь с растущим кристаллом, пересыщенный раствор частично отдаёт ему избыток растворенного вещества. При этом концентрация раствора

в пограничной с кристаллом зоне («дворике кристаллизации») уменьшается. Уменьшение концентрации может быть связано также с выделением тепла, в большинстве случаев имеющем место при кристаллизации. Все это уменьшает плотность раствора в дворике кристаллизации по сравнению с остальным раствором. Уменьшение плотности вызывает появление восходящих струек (рис. 1, а). Аналогичные концентраци-



**Рис. 1.** Концентрационные потоки в случае растущего (а) и растворяющегося (б) кристалла (по: Попов, Шафрановский, 1972)

**Fig. 1.** Concentration flows in the case of growing (a) and dissolving (b) crystals (according to Popov, Shafranovsky, 1972)

онные потоки наблюдаются при растворении кристаллов. Однако в этом случае струйки направлены сверху вниз благодаря большей плотности их по сравнению с окружающим недосыщенным раствором (рис. 1, b)» (Попов, Шафрановский, 1972, с. 23, 24). Это весьма полное описание природы и механизма возникновения концентрационных потоков.

В том или ином виде указание на концентрационные потоки, сопровождающие рост и растворение кристаллов, имеется практически во всех сводках по кристаллизации, опубликованных в XX веке. Само же открытие концентрационных потоков произошло более двухсот лет назад, в конце XVIII века. Часто открытие концентрационных потоков приписывается немецкому кристаллографу О. Леманну (1855—1922), у которого действительно имеется близкое к современному описание концентрационных потоков: «Менее концентрированный и нагретый раствор вблизи кристалла стремится вверх благодаря своему меньшему удельному весу и замещается притекающим снизу более холодным и концентрированным раствором» (Lehmann, 1877, с. 474). Однако первооткрывателем концентрационных потоков заслуженно считается выдающийся петербургский академик Т. Е. Ловиц (1757—1804) (рис. 2), кото-



Рис. 2. Т. Е. Ловиц (1757—1804)

Fig. 2. T. E. Lowitz (1757—1804)

рый описал их на десятилетия раньше (в 1798 г.)<sup>\*</sup> как «внутреннее движение», возникающее при кристаллизации из жидкости (Ловиц, 1955). Как пишет И. И. Шафрановский в своей книге, посвященной истории кристаллографии в России (1962), «нельзя не поразиться замечательной зоркости ученого, позволившей ему открыть это малозаметное, трудно улавливаемое на глаз, но чрезвычайно важное явление» (с. 186). Т. Е. Ловиц первым связал это явление с растущими кристаллами. Для него было ясно, что причина возникающего «внутреннего движения» раствора неотделима от кристаллизационного процесса.

Приоритет Т. Е. Ловица в открытии концентрационных потоков невозможно подвергнуть сомнению.

<sup>\*</sup> Речь идет о статье Т. Е. Ловица «Изложение новых наблюдений над кристаллизацией солей, а также нового изобретения, касающегося образования солями правильных кристаллов», опубликованной в 1798 году, которая была представлена им ещё 10 июня 1794 г. Таким образом, в этом году открытию концентрационных потоков исполняется 230 лет.

Он не только описал, но и глубоко понимал роль и значение наблюдаемого им движения, привлекал его для объяснения и ряда других явлений, связанных с кристаллизацией. Обнаруженные им «сии простым глазом видимые струи» (концентрационные потоки), сопровождающие кристаллизацию из растворов, оказались важным фактором кристаллообразования и ключом к пониманию многих явлений, связанных с процессами кристаллизации вещества в растворах.

Отдавая должное Т. Е. Ловицу, необходимо отметить, что открытие концентрационных потоков не было его единственным кристаллогенетическим достижением. Он автор многих впечатляющих открытий. Его работы по кристаллизации и смежным вопросам химии заслуживают того, чтобы им был посвящен отдельный очерк. По тем временам многие из его опытов по кристаллизации носили пионерский характер. В частности, Т. Е. Ловиц первым выделил в кристаллизационном процессе две стадии, первая из которых связана с зарождением собственно кристалла («первых зачатков» — по Ловицу), а вторая — с его дальнейшим ростом. Установил важные для кристаллообразования явления пересыщения или переохлаждения раствора, а также существования критических значений переохлаждения раствора, при достижении которых начинается «стремительное» кристаллообразование. Кроме того, Т. Е. Ловиц — автор метода выращивания кристаллов на затравках, ставшего уже в наше время главным методом получения кристаллов крупных размеров. В его работах мы находим также идеи использования формы кристалла для идентификации вещества (построения кристалломорфологического определителя вещества (минералов — как бы сказали современные минералоги). Возможно, Т. Е. Ловиц был первым, кто начал изготавливать восковые модели кристаллов. Большая коллекция из почти пяти сотен моделей была подарена им Московскому университету, а часть коллекции оставалась в Медико-хирургической академии (Scherer, 1820). С сожалением нельзя не отметить, что выдающиеся открытия Т. Е. Ловица почти целое столетие были в забвении, а его самого ещё в начале XX века называли забытым физикохимиком (Вальден, 1919). Безусловно, возникший через много лет после него интерес к феномену концентрационных потоков способствовал тому, что имя Т. Е. Ловица заняло подобающее место в истории отечественной науки. А его утверждение: «Образование кристаллов есть неоспоримо самое привлекательное и удивительное, но притом доселе ещё неизъяснимое действие природы» (Ловиц, 1955, с. 222) — звучит актуально и сегодня. И. И. Шафрановский писал, что имя Ловица «должно быть поставлено в один ряд с наиболее выдающимися в истории кристаллографии» (Шафрановский, Попов, 1962, с. 79).

После открытий Т. Е. Ловица игнорировать концентрационные потоки, постоянно сопровождающие рост и растворение кристаллов, было невозможно. Становилось понятно, что это важный фактор кристаллообразования, имеющий много разнообразных следствий, касающихся кинетики роста и формы кристалла. Естественно, концентрационные потоки привлекли пристальное внимание не только исследователей процессов кристаллизации. Кроме упомянутого нами выше О. Леманна, существенный вклад в понимание причин и следствий возникновения концентрацион-



ных потоков внёс Д. Л. Франкенгейм (1860). Образование потоков он связывал с тем, что диффузия в растворе протекает медленно и не может компенсировать происходящие при росте кристалла концентрационные изменения.

На конец XIX века приходятся выдающиеся работы Г. В. Вульфа (1863—1925) (рис. 3), который первым



Рис. 3. Г. В. Вульф (1863—1925)

Fig. 3. G. W. Wolf (1863—1925)

предпринял попытки систематического экспериментального изучения концентрационных потоков. Свою мотивацию Г. В. Вульф описывает следующим образом: «Сознавая всю важность влияния концентрационных потоков на рост кристаллов, я счёл за необходимое исследовать их ближе. Я считал себя не вправе ограничиться одними соображениями относительно способа возникновения и распространения этих потоков и их влияния на рост кристаллов, как бы просты ни казались эти соображения в данном случае. Я полагал, что будет целесообразным непосредственно наблюдать и изучить эти потоки, и если возможно, то запечатлеть их с помощью фотографии» (Вульф, 1952, с. 24). Ему удалось это сделать впечатляющим образом. Замечательные фотоснимки, визуально демонстрирующие концентрационные потоки от растущего кристалла, из его докторской диссертации «К вопросу о скоростях роста и растворения кристаллических граней», законченной в 1894 г.\* и опубликованной в 1895 в «Варшавских университетских известиях», приведены на рис. 4. Первая глава диссертации как раз была посвящена именно концентрационным потокам. Она начинается словами, в которых впервые отмечается активная роль кристалла в ростовом процессе: «При изучении роста кристаллов нельзя рассматривать кристаллы отдельно от среды, в которой он образуется. Среда эта обыкновенно более или менее жидка и текуча, и в ней под влиянием разнообразных причин могут возникать движения, так или иначе влияющие на перемещение вещества, отлагающегося на кристалле. Но не все исследователи ясно сознавали, что растущий кристалл сам есть источник возмущений, устранить которые нельзя, не прекратив самого роста кристалла» (Там же, с. 21). Концентрационные потоки, вызванные растущим кристаллом, являются таким возмущением в среде, которое наряду с диффузией обеспечивает доставку вещества к кристаллу. Мысли Г. В. Вульфа о том, что нельзя рост

\* Т. е. 130 лет назад. Это ещё одна знаменательная дата в истории изучения концентрационных потоков.

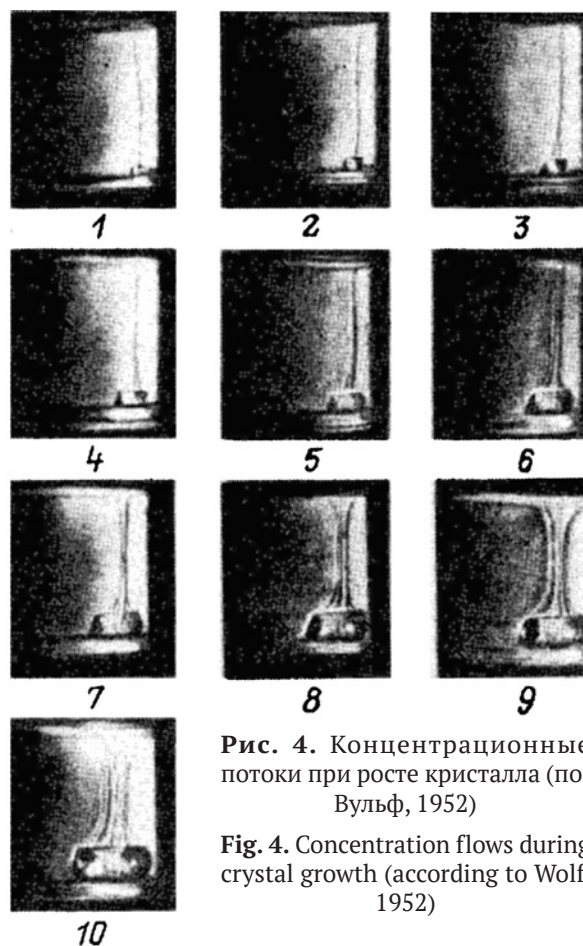


Рис. 4. Концентрационные потоки при росте кристалла (по: Вульф, 1952)

Fig. 4. Concentration flows during crystal growth (according to Wolf, 1952)

кристалла рассматривать вне связи со средой, что растущий кристалл может быть ответственен за ряд сопровождающих рост эффектов, в том числе и за появление концентрационных потоков, имела серьезные последствия для развития учения о росте кристаллов и практики искусственного их выращивания. Безусловно, выдающимся достижением Г. В. Вульфа является и разработка специального метода выращивания кристаллов, исключая влияние отрицательных эффектов концентрационных потоков (метод вращающихся кристаллизаторов). На решение этих же задач были направлены и появившиеся затем многочисленные варианты так называемых динамических методов выращивания кристаллов.

После Вульфа концентрационные потоки на длительное время выпали из кристаллогенетической повестки, это, правда, не означает, что исследователи в дальнейшем совершенно игнорировали их. Упоминаний было много, как в отдельных статьях, так и в больших монографиях по росту кристаллов. Но ничего принципиально нового ни в качественном, ни в количественном их описании установлено не было.

В этом плане нельзя не остановиться на статье А. М. Кузьмина, которая вышла под названием «Явление концентрационных потоков при кристаллизации» в 1958 году (Кузьмин, 1958). Это была обобщающая для своего времени работа, в которой достаточно полно излагалась история взглядов на концентрационные потоки, приводились новые экспериментальные данные. В этой работе впервые обсуждалась также роль концентрационных потоков в процессе массовой кристаллизации. В следующей статье (Кузьмин, 1963) он рас-

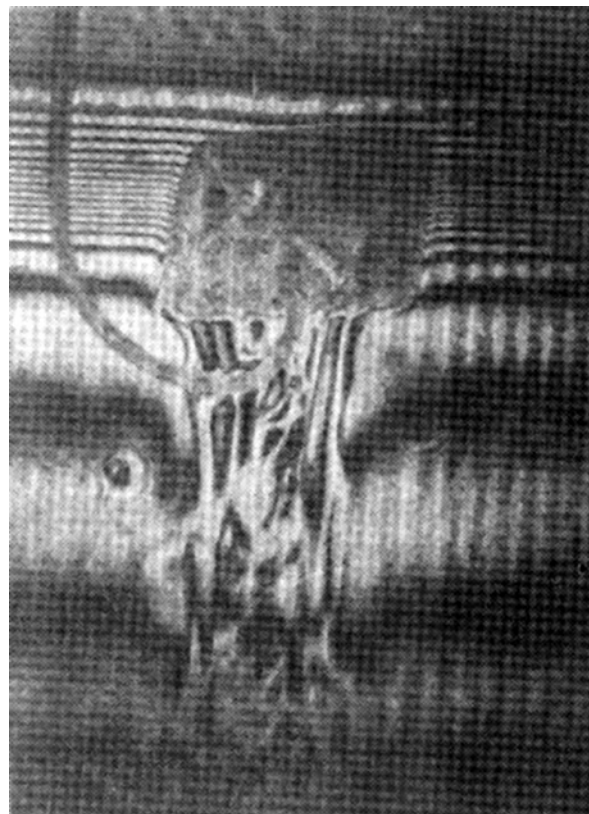
смаатривал также возможную роль концентрационных потоков на стадии кристаллизационной дифференциации магмы. В ней концентрационным потокам приписывалась роль одного из главных факторов, обуславливающих движение вещества как в самой магме, так и при выносе его из магмы. Однако тема не получила дальнейшего развития, хотя надо признать, что концентрационные потоки, безусловно, могут играть роль во многих процессах, связанных с образованием и ростом огромного числа кристаллов (как геологических, так и технологических).

Следует заметить, что желание А. М. Кузьмина вывести концентрационные потоки за пределы лабораторных кристаллизаторов в целом понятно, но оно оказалось преждевременным. Это же относится и к его попытке связать концентрационные потоки со структурой раствора (с наличием там гидратированных комплексов). В обоих случаях не хватало базовых экспериментальных данных. Возможно, к этим вопросам следует вернуться. Ещё один интересный факт: А. М. Кузьмин предлагал называть концентрационные потоки ловиц-вульфовскими потоками.

Новый этап изучения роли концентрационных потоков в росте и растворении кристаллов наступил в конце 70-х годов XX века и был связан с внедрением методов голографической интерферометрии в кристаллогенетические исследования. Наиболее масштабно это произошло в Сыктывкаре благодаря совместным усилиям сотрудников Института геологии Коми филиала АН СССР и Сыктывкарского госуниверситета (инициаторы — В. А. Петровский и В. П. Рузов, к которым ещё студентом был привлечен В. И. Ракин). Кроме чрезвычайно эффективной визуализации самих концентрационных потоков голографические методы позволяли получать не только качественную, но и количественную информацию о концентрационных потоках, об эволюции раствора под их воздействием. В результате был установлен ряд эффектов, связанных с поведением раствора на границе «кристалл—раствор» и в объеме раствора. Первые итоги исследования взаимодействия кристалла и среды в процессе роста кристаллов (по данным исследования методом голографической интерферометрии) изложены в пионерской работе этих авторов в 1979 году (Петровский, Рузов, Ракин, 1979). В последующем результаты исследований были ими опубликованы в отдельных монографиях (Петровский, 1983; Ракин, 1990).

### **Концентрационные потоки и концентрационная дифференциация раствора в процессе роста и растворения кристаллов**

Пожалуй, наибольший интерес вызвало явление ростовой вертикальной дифференциации раствора в условиях возникновения концентрационных потоков. Суть его сводится к тому, что при росте кристалла над ним в растворе формируется зона с меньшей концентрацией, а при растворении зона с большей концентрацией формируется под кристаллом. Эти две зоны оказываются разделенными резким градиентом концентрации на уровне кристалла (рис. 5). В. А. Петровский назвал обнаруженное явление кристаллогенетическим расслоением раствора.



**Рис. 5.** Кристаллогенетическое расслоение раствора при растворении кристаллов. Голографическая интерферограмма (по: Асхабов, 1984)

**Fig. 5.** Crystallogenetic stratification of the solution. Holographic interferogram (according to Askhabov, 1984)

Надо отметить, что разговоры о вертикальной неоднородности раствора имеют давнюю историю. Первое упоминание об этом имеется у французского химикотехнолога Н. Леблана. Уже в начале XX века проф. П. А. Земятченский (1914) прямо назвал неоднородность раствора по вертикали «расслаиванием» раствора под воздействием силы тяжести. Механизм расслоения был расшифрован В. Н. Михеевым (1930), продолжившим эксперименты П. А. Земятченского. Тогда же впервые непосредственной причиной расслоения были названы концентрационные потоки, генерируемые растущими кристаллами. Интересно, что начальная стадия расслоения раствора в процессе роста кристаллов была зафиксирована ещё на знаменитых фотографиях Г. В. Вульфа (рис. 4), где концентрационные потоки визуализировались теньевым методом. Однако там не было речи ни о расслоении, ни об особом ростовом механизме стратификации раствора. Расслоение раствора как результат возникновения концентрационных потоков тем более не рассматривалось.

Довольно подробное обсуждение роли и значения концентрационных потоков в кристаллогенезисе, в эволюции системы «кристалл—среда» изложено ранее (Асхабов, 1984, 1993). Там же приводится количественная теория концентрационной дифференциации раствора в процессе роста кристалла. В частности, было показано, что первопричиной дифференциации раствора является возникновение градиента концентрации в пограничном слое, благодаря которому около кристалла и возникает гравитационная неустойчи-

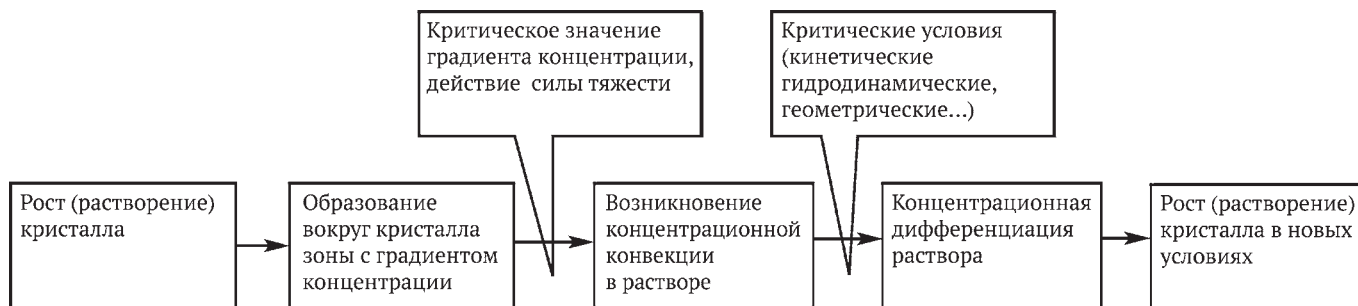


Рис. 6. Последовательность явлений концентрационной эволюции раствора в процессе роста или растворения кристаллов (по: Асхабов, 1993)

Fig. 6. The sequence of phenomena in the concentration evolution of a solution during the growth or dissolution of crystals (according to Askhabov, 1993)

вость и конвективное движение раствора, что в результате и приводит к его дифференциации. Причем реализация этих явлений требует достижения необходимых для этого критических условий (рис. 6).

Далее следует коротко остановиться на некоторых особенностях возникновения концентрационных потоков и условиях реализации феномена концентрационной эволюции раствора в процессе роста кристалла. В условиях гравитационной устойчивости раствора основным механизмом переноса вещества является диффузия, в то время как для образования градиентной зоны необходим конвективный перенос вещества. Когда возникает конвективное движение (концентрационный поток), идущее от кристалла, раствор в потоке постоянно обогащается по пути своего движения за счет диффузии из окружающего неподвижного раствора (рис. 7). Следовательно, необходимым условием возникновения дифференциации раствора в процессе роста кристалла является преобладание накопления в градиентной зоне обедненного (менее плотного) раствора над диффузионным выравниванием концентрации в потоке за счет диффузии. Для этого необходима достаточная интенсивность ростового процесса, что должно обеспечиваться соответствующим пересыщением. Очевидны и геометрические ограничения, необходимые для ре-

ализации феномена концентрационной дифференциации раствора: расстояние до верхнего уровня раствора должно быть меньше пути, на котором происходит полное выравнивание концентрации в концентрационном потоке, а поперечное сечение кристаллизатора должно быть сравнительно небольшим.

Теория концентрационной эволюции раствора в процессе роста кристалла (Асхабов, 1993) исходит из того, что на этапе образования градиентной зоны совокупность главных величин, от которых это зависит, связана следующим уравнением баланса вещества в формирующейся градиентной зоне:

$$\beta S_k \left( \frac{\partial c}{\partial x} \right)_\delta \delta k Ra = D \left( \frac{\partial c}{\partial y} \right)_g S + \left( \frac{\partial c}{\partial y} \right)_z h S \frac{dh}{dt}, \quad (1)$$

где

$$\beta = \frac{\beta_i D}{D + \beta_i \delta} -$$

эффективное сопротивление росту кристалла в условиях смешанной кинетики,  $\beta_i$  — сопротивление поверхностной реакции (кинетический коэффициент),  $\delta$  — толщина пограничного слоя,  $D$  — коэффициент диффузии,  $S_k$  — суммарная площадь растущей поверхности кристалла,  $S$  — площадь поперечного сечения кристаллизатора,  $h$  — протяженность градиентной зоны. Роль конвекции учитывается посредством критерия Рэлея:

$$Ra = \frac{g \alpha L^3 \left( \frac{\partial c}{\partial x} \right)_\delta \cdot \delta}{\nu D},$$

где  $L$  — характерный размер кристалла,  $\nu$  — кинематическая вязкость,  $\alpha$  — коэффициент, характеризующий относительное изменение плотности при изменении концентрации. Коэффициент  $k$  введен из-за специфических особенностей конвекции в градиентных средах\*. Из уравнения (1) следует, что скорость продвижения градиентной зоны к кристаллу определяется следующим выражением:

$$v = (Rak k Ra - 1) \frac{D}{h Pet}, \quad (2)$$

где  $Rak$  и  $Pet$  — введенные нами безразмерные критерии Ракина и Петровского.

\*  $\left( \frac{\partial c}{\partial x} \right)_\delta, \left( \frac{\partial c}{\partial y} \right)_g, \left( \frac{\partial c}{\partial y} \right)_z$  — градиенты концентрации: в по-

граничном слое, на границе между градиентной и безградиентной зонами, в градиентной зоне соответственно.

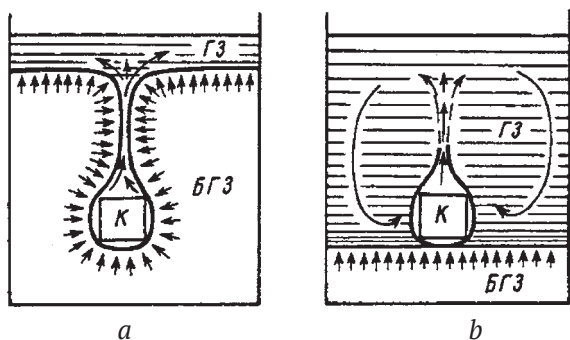


Рис. 7. Направления интенсивного массопереноса в процессе роста кристаллов на этапе образования градиентной зоны над кристаллом (а) и его стабилизации на уровне кристалла (б). Тонкими стрелками указаны направления движения концентрационных потоков. ГЗ — градиентная и БГЗ — безградиентная зоны (по: Асхабов, 1993)

Fig. 7. Direction of mass transfer during crystal growth at the stage of formation of a gradient zone above the crystal (a) and its stabilization at the crystal level (b). Thin arrows indicate directions of movement of concentration flows (according to Askhabov, 1993)



$$Rak = \frac{\beta S k \left( \frac{\partial c}{\partial x} \right)_{\delta}}{D S \left( \frac{\partial c}{\partial y} \right)_{g}} \text{ и } Pet = \frac{\left( \frac{\partial c}{\partial x} \right)_{z}}{\left( \frac{\partial c}{\partial y} \right)_{g}}. \quad (3)$$

Критерий Ракина представляет собой отношение массовых скоростей роста кристалла и диффузионного переноса вещества в градиентную зону, а критерий Петровского — отношение потоков вещества в градиентной зоне и через границу между зонами.

В результате из уравнения баланса получаем:

$$Rak \cdot k \cdot Ra - \frac{h}{D} \frac{dh}{dt} P = 1. \quad (4)$$

Величина  $dh/dt$  представляет собой скорость продвижения градиентной зоны. Если она равна 0, то выполняется условие:  $Rak \cdot k \cdot Ra = 1$ . Следовательно, движение градиентной зоны остановится при  $Rak = 1/k \cdot Ra = 1$ . Поскольку в реальных процессах градиентная зона, уже образовавшись, движется по направлению к кристаллу, то на этом этапе  $Rak$  всегда больше  $1/k \cdot Ra$ . Таким образом,  $Rak \cdot k \cdot Ra > 1$  — это условие дифференциации раствора в процессе роста кристалла.

При малых пересыщениях раствора градиент концентрации в околокристалльном пространстве мал и сама возможность возникновения концентрационных потоков становится проблематичной. Действительно, в условиях антипараллельного ускорению силы тяжести градиента плотности раствор приходит в движение лишь тогда, когда этот градиент превосходит некоторое критическое значение, что связано с необходимостью преодоления сил вязкого трения и эффектов диффузии. Гравитационная потенциальная энергия, освобождающаяся при выталкивании менее плотного раствора, должна быть больше энергии диссипации. Вязкость раствора также является фактором, препятствующим конвективному движению раствора. Связь концентрационных потоков с интенсивностью ростового процесса и вязкостью раствора отмечалась ещё Т. Е. Ловицем и Г. В. Вульфом.

Очевидно, что концентрационные потоки не могут появиться в условиях отсутствия гравитации, например при росте кристаллов на орбитальных космических станциях\*, тогда как в центробежных условиях повышенной гравитации эффекты концентрационной конвекции будут проявляться ещё ярче, чем в условиях обычной гравитации. Это означает, что концентрационные потоки представляют механизм действия гравитации на процессы кристаллизации. Это совершенно иной механизм действия гравитации, чем через возможную седиментационную дифференциацию и стратифицированное по размерам распределение строительных частиц в растворе.

С момента возникновения концентрационных потоков меняется концентрационное (диффузионное) по-

ле вокруг кристалла. Наряду с диффузионным формируется также гидродинамический пограничный слой. Растущая поверхность кристалла оказывается отделенной от основного неподвижного объема раствора динамическим слоем, градиент концентраций и поле скоростей в котором будут определять особенности монопереноса. Кинетически важным фактором становится изменение толщины пограничного слоя по направлению движения раствора. При этом происходит нарушение морфологической однородности рельефа грани по вертикали, с этим связано также смещение наиболее активных центров роста к нижним участкам граней и нередкое морфологическое вырождение верхних участков.

Следствием возникновения концентрационных потоков является диссимметризация кристаллообразующей среды и растущих кристаллов. Система «кристалл—среда» лишается горизонтальной плоскости симметрии. Инвариантность роста верхних и нижних граней кристалла нарушается. Причем это относится ко всем без исключения аспектам роста: кинетическим, морфологическим, анатомическим и связанным с ними особенностям строения и свойств формирующихся пирамид нарастания граней в кристаллах. Естественно, будут иметь место существенные различия в росте и строении разноориентированных по отношению к вектору силы тяжести граней кристаллов (известное явление гравитационного искажения формы кристаллов). Эта особенность носит общий характер, ее можно рассматривать как следствие универсального закона диссимметризации кристаллов, растущих в конвективно (гравитационно) подвижных средах в поле силы тяжести.

В феномене концентрационных потоков и концентрационной дифференциации раствора наиболее эффектно проявляется активное влияние кристалла на среду, его «дальнодействие». Удивительно, но факт — кристалл, поглощая вещество из непосредственного своего окружения благодаря концентрационным потокам, «осваивает» в первую очередь пространство с наибольшей потенциальной энергией, т. е. «вырабатывает» наиболее верхние части кристаллизационного объема. Растущий кристалл задает направление наиболее выгодной энергетической эволюции системы «кристалл—среда». При растворении кристалла, наоборот, происходит накопление вещества в нижних частях кристаллизатора. Создаваемое кристаллом состояние с вертикальным градиентом концентрации характеризуется наибольшей механической устойчивостью. Градиент концентрации (плотности) в растворе, в свою очередь, становится важным фактором эволюции кристаллов и кристаллообразующих сред не только в лабораторных, но и в природных условиях. Особенно в тех случаях, когда конвективные движения происходят в средах с градиентом плотности, или там, где возникает так называемая конвекция двойной диффузии.

## Заключение

Подводя итог данному обзору развития представлений о концентрационных потоках, нужно отметить, что они являются важнейшим эндогенным фактором роста и растворения кристаллов в растворах, имеющим важные кинетические и морфолого-анатомические

\* На самом деле из-за того, что орбитальные космические станции все же испытывают по разным причинам небольшие ускорения на околоземных орбитах, не исключено возникновение хотя бы и слабых концентрационных потоков. Интересно, что в растворе даже в отсутствие гравитации, как оказалось, возникает иной негравитационный тип конвекции, не связанный с ростом кристаллов (так называемая конвекция Марангони, или капиллярная конвекция).



следствия, который может проявиться в самых разнообразных геологических и технологических условиях кристаллизации. Автор считает необходимым констатировать некоторые ключевые факты приоритетного характера, касающиеся истории изучения и роли концентрационных потоков, и обратить внимание на отечественное происхождение этих фактов: 1) открытие концентрационных потоков принадлежит Т. Е. Ловицу (1798); 2) впервые концентрационные потоки были визуализированы Г. В. Вульфом (1895); 3) с концентрационными потоками связано явление дифференциации (расслоения) раствора в процессе роста и растворения кристаллов (Земятченский, 1914; Михеев, 1930); 4) прорывные исследования концентрационной дифференциации раствора с использованием методов голографической интерферометрии были проведены В. А. Петровским, В. П. Рузовым и В. И. Ракиным (1979); 5) количественная теория концентрационной эволюции раствора в системе «кристалл—среда» в процессе роста кристалла разработана А. М. Асхабовым (1993).

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.*

*Автор благодарен члену-корреспонденту РАН Ю. Б. Марину за внимательное прочтение рукописи и ценные замечания.*

## Литература/ References

- Асхабов А. М. Процессы и механизмы кристаллогенезиса. Л.: Наука, 1984. 168 с.  
Askhabov A. M. Processes and mechanisms of crystallogenesis. Leningrad: Nauka, 1984, 168 p. (in Russian)
- Асхабов А. М. Кристаллогенезис и эволюция системы «кристалл—среда». СПб.: Наука, 1993. 154 с.  
Askhabov A. M. Crystallogenesis and evolution of the “crystal-medium” system. St. Petersburg: Nauka, 1993, 154 p. (in Russian)
- Вальден П. И. Товий Ловиц — забытый физикохимик // Вальден П. Наука и жизнь. П., 1919. Ч. 2. С. 51—62.  
Walden P. I. Tovius Lowitz is a forgotten physical chemist. In the book: Walden P. Science and Life, P2, 1919, Part 2, pp. 51—62. (in Russian)
- Вульф Г. В. Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М., 1952, 343 с.  
Wolf G. V. Selected works on crystal physics and crystallography. Moscow, 1952, 343 p. (in Russian)
- Земятченский П. А. Этюды по кристаллогенезису. IV // Зап. АН. Сер. 8. 1914. Т. 33. № 5. 14 с.  
Zemyatchensky P. A. Studies on crystallogenesis. IV. Proc. AS, ser. 8, 1914, V. 33, No. 5, 14 p. (in Russian)
- Кузьмин А. М. Явление концентрационных потоков при кристаллизации // Известия СО АН СССР. 1958. № 6. С. 10—25.  
Kuzmin A. M. The phenomenon of concentration flows during crystallization. Proc. SB USSR AS, 1958, No. 6, pp. 10—25. (in Russian)
- Кузьмин А. М. Роль концентрационных потоков на стадии кристаллизационной дифференциации магмы // Известия Томского политехнического института, 1963. Т. 121. С. 42—46.  
Kuzmin A. M. The role of concentration flows at the stage of crystallization differentiation of magma. Proceedings of the Tomsk Polytechnic Institute, 1963, V. 121, pp. 42—46. (in Russian)
- Ловиц Т. Е. Избранные труды по химии и химической технологии. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 612 с.  
Lovitz T. E. Selected works on chemistry and chemical technology. Moscow: Publishing House of the USSR AS, 1955, 612 p. (in Russian)
- Михеев В. И. Причины расслаивания пересыщенных растворов // Зап. ВМО. 1930. Ч. 59. С. 303—307.  
Mikheev V. I. Causes of separation of supersaturated solutions. Proc. RMS, 1930, Part 59, pp. 303—307. (in Russian)
- Петровский В. А., Рузов В. П., Ракин В. И. Взаимодействие кристалла и среды (по данным исследования методом голографической интерферометрии. Сыктывкар, 1979, 47 с. (Научные доклады: Серия припринтов. Вып. 48).  
Petrovsky V. A., Ruzov V. P., Rakin V. I. Interaction of crystal and environment (according to research using the holographic interferometry method). Series of preprints “Scientific Reports”, 48, Syktyvkar, 1979, 47 p. (in Russian)
- Петровский В. А. Рост кристаллов в гетерогенных растворах. Л., 1983, 144 с.  
Petrovsky V. A. Crystal growth in heterogeneous solutions. Leningrad, 1983, 144 p. (in Russian)
- Попов Г. М., Шафрановский И. И. Кристаллография: Учебник для студентов геологических специальностей высших учебных заведений. Изд. 5-е. М.: Высшая школа, 1972. 352 с.  
Popov G. M., Shafranovsky I. I. Crystallography. Ed. 5th. Textbook for students of geological specialties of higher educational institutions. Moscow, “Higher School”, 1972, 352 p. (in Russian)
- Ракин В. И. Голографометрия кристаллообразующих сред. Л., 1990. 90 с.  
Rakin V. I. Holographometry of crystal-forming media. Leningrad, 1990. (in Russian)
- Фигуровский Н. А., Ушакова Н. Н. Товий Егорович Ловиц. М.: Наука, 1988. 185 с.  
Figurovsky N. A., Ushakova N. N. Toviy Egorovich Lovitz. Moscow: Nauka, 1988, 185 p. (in Russian)
- Шафрановский И. И. История кристаллографии в России. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 415 с.  
Shafranovsky I. I. History of crystallography in Russia. Moscow, Leningrad: Publishing House of USSR AS, 1962, 415 p. (in Russian)
- Шафрановский И. И. История кристаллографии (с древнейших времен до начала XIX столетия). Л.: Наука, 1978. 297 с.  
Shafranovsky I. I. History of crystallography (from ancient times to the beginning of the 19th century). Leningrad: Nauka, 1978, 297 p. (in Russian)
- Frankenheim D. L. Uber Entstehen und das Wachen der Krystalle/ Pogg. Ann. Phys., III, 1860, c.1.  
Lehmann O. Ueber das Wachstum der Kristalle. — Z. Kristallogr. 1877, Bd 1, s. 453—496.
- Scherer A. Worte der Ezinnerung an das Leben und die Verdienste von Tobias Lowitz. St. Peterburg. 1820, s.1.

Поступила в редакцию / Received 22.03.2024



## Из опыта преподавания. XIV. О разнообразии тетраэдров

Ю. Л. Войтеховский

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург  
Российское минералогическое общество, Санкт-Петербург  
vojtehovskij@herzen.spb.ru

В статье предложен вывод 25 комбинаторно-геометрических видов тетраэдров, относящихся к 8 точечным группам симметрии. Среди них 3 простые формы: кубический ( $-43m$ ), тетрагональный ( $-42m$ ) и ромбический ( $222$ ) тетраэдры – и 5 комбинаций: тригональная пирамида и моноэдр ( $3m$ ), 2 планальных диэдра ( $mm2$ , 2 вида), 2 аксиальных диэдра (2, 3 вида), планальный диэдр и 2 моноэдра ( $m$ , 5 видов), 4 моноэдра (1, 11 видов). Показано, что невозможны тетраэдры с симметрией  $23$ ,  $-4$  и  $3$  – подгруппами точечной группы симметрии кубического тетраэдра. Пример рекомендован к рассмотрению в курсе кристаллографии по теме «Простые формы и их комбинации».

**Ключевые слова:** тетраэдр, комбинаторно-геометрический вид, простая форма, комбинация простых форм, точечная группа симметрии

## From teaching experience. XIV. On the variety of tetrahedrons

Yu. L. Voytekhovskiy

A. I. Herzen Russian State Pedagogical University, Saint Petersburg  
Russian Mineralogical Society, Saint Petersburg

The paper proposes the derivation of 25 combinatorial-geometric kinds of tetrahedrons belonging to 8 point symmetry groups. Among them are 3 simple forms: cubic ( $-43m$ ), tetragonal ( $-42m$ ) and rhombic ( $222$ ) tetrahedrons; and 5 combinations: trigonal pyramid and monohedron ( $3m$ ), 2 planar dihedrons ( $mm2$ , 2 kinds), 2 axial dihedrons (2, 3 kinds), planar dihedron and 2 monohedrons ( $m$ , 5 kinds), 4 monohedrons (1, 11 kinds). It is shown that tetrahedrons with symmetry  $23$ ,  $-4$  and  $3$  – subgroups of the point symmetry group of the cubic tetrahedron – are impossible. The example is recommended for consideration in the course of crystallography on «simple forms and their combinations».

**Keywords:** tetrahedron, simple form, combinatorial geometric kind, combination of simple forms, symmetry point group

### Введение

Подоплека этой статьи такова. Как-то после лекции о простых формах и их комбинациях к нам подошел студент-геолог и заявил: вы-де сказали, что есть только три тетраэдра (кубический, тетрагональный и ромбический), а я вот нарисовал четвертый, и, кажется, возможны другие. В конспекте лекций был изображен тетраэдр с разными гранями (длины ребер были помечены разными штрихами). Пришлось предложить студенту обдумать определение простой формы еще раз и пообещать вернуться к вопросу о разнообразии тетраэдров в начале следующей лекции. Тема действительно обойдена в учебниках кристаллографии (Попов, Шафрановский, 1964; Чупрунов и др., 2004). Справедливости ради – при изложении теории простых форм и комбинаций она с необходимостью не возникает. Но отдадим должное любопытному студенту за неожиданный вопрос.

Как выпуклый многогранник (комбинаторно) тетраэдр уникален. Из его имени строго выводимо, что все 4 грани – треугольники, сходящиеся по 3 в каждой из 4 вершин. Но метрическое разнообразие тетраэдров бесконечно. Форму каждого можно зафиксировать

(с точностью до энантиоморфизма) величинами трех ребер, исходящих из одной вершины, и углов между ними. Длины ребер положительны, непрерывны, неограничены и независимы. Углы положительны, непрерывны, ограничены ( $< 180^\circ$ ) и зависимы в сумме ( $< 360^\circ$ ). Итак, форма тетраэдра задана координатной точкой в 6-мерном континууме, равномоном 1-мерному (Кантор, 1985). А все же натуральных чисел (счетной бесконечности) не хватит, чтобы их пронумеровать.

### Перечисление

Перечисление тетраэдров по точечным группам симметрии (т. г. с.) интересно уже тем, что позволяет построить их систему в промежутке между «одним» и «бесконечно многим». Здесь видна философская подоплека кристаллографии, на которую тоже следует обращать внимание студентов. Но сосредоточимся на вопросе. Алгоритм перечисления состоит в следующем. Всякая т. г. с. подразумевает автоморфизмы, отображающие однородные элементы тетраэдра друг в друга, при этом грани могут быть 3 типов: равносто-

**Для цитирования:** Войтеховский Ю. Л. Из опыта преподавания. XIV. О разнообразии тетраэдров // Вестник геонаук. 2024. 4(352). С. 34–37. DOI: 10.19110/geov.2024.4.4

**For citation:** Voytekhovskiy Yu. L. From teaching experience. XIV. On the variety of tetrahedrons. Vestnik of Geosciences, 2024, 4(352), pp. 34–37, doi: 10.19110/geov.2024.4.4



ронные, равнобедренные и разносторонние. Их набор кодируется тремя числами. Так, кубический тетраэдр получает код [400], тетрагональный — [040], ромбический — [004]. Всего можно составить 15 таких (комбинаторных) кодов: [400], [310], [301], [220], [211], [202], [130], [121], [112], [103], [040], [031], [022], [013], [004]. Четыре из них (зачеркнуты) противоречивы: 3 равно- сторонние грани требуют такой же четвертой — полу- чаем тетраэдр [400]; 2 равносторонние требуют две равнобедренные — получаем тетраэдр [220].

Перебор остальных вариантов удобно вести в по- рядке «убывания»: с равносторонними гранями, потом без них, но с равнобедренными, наконец, только с раз- носторонними. Восстановим ли тетраэдр по коду? Не всегда: [400] — заведомо кубический, но [040] — не обя- зательно тетрагональный. В одном типе следует раз- личать (совместимо или зеркально) равные и разные грани. Так, в форме [0.2 + 2.0] есть 2 пары равнобедрен- ных граней, в [0.2 + 1 + 1.0] — пара и 2 уникальные. Всего таких (комбинаторно-геометрических) символов мож- но составить 51. На рис. 1 даны только геометрически

реализуемые варианты. Ребра равной (разной) длины отмечены одинаковыми (разными) буквами.

### Характеристика

Тетраэдры охарактеризованы комбинаторно-ге- ометрическими кодами и т. г. с. в таблице 1. Их вза- имно-однозначное соответствие имеет место лишь для самых симметричных форм: кубического, тетра- гонального, ромбического тетраэдров и комбинации тригональной пирамиды с моноэдром. Для них коды могут служить именами. В других случаях код харак- теризует тетраэдр точнее, чем т. г. с. Лишь для кода [0.2 + 2.0] возможны два тетраэдра с т. г. с.  $mm2$  (№ 16) и 2 (№ 11) (выделены в табл.). Итого тетраэдров с т. г. с.  $mm2$  — 2, т. г. с. 2 — 3, т. г. с.  $m$  — 5, т. г. с. 1 — 11. При этом 8 т. г. с. относятся к 6 из 7 (без гексагональной) сингониям с ростом числа форм к низкосимметрич- ным: кубической, тетрагональной и тригональной — по 1, ромбической — 3, моноклинной — 8, триклин- ной — 11 (табл. 1).

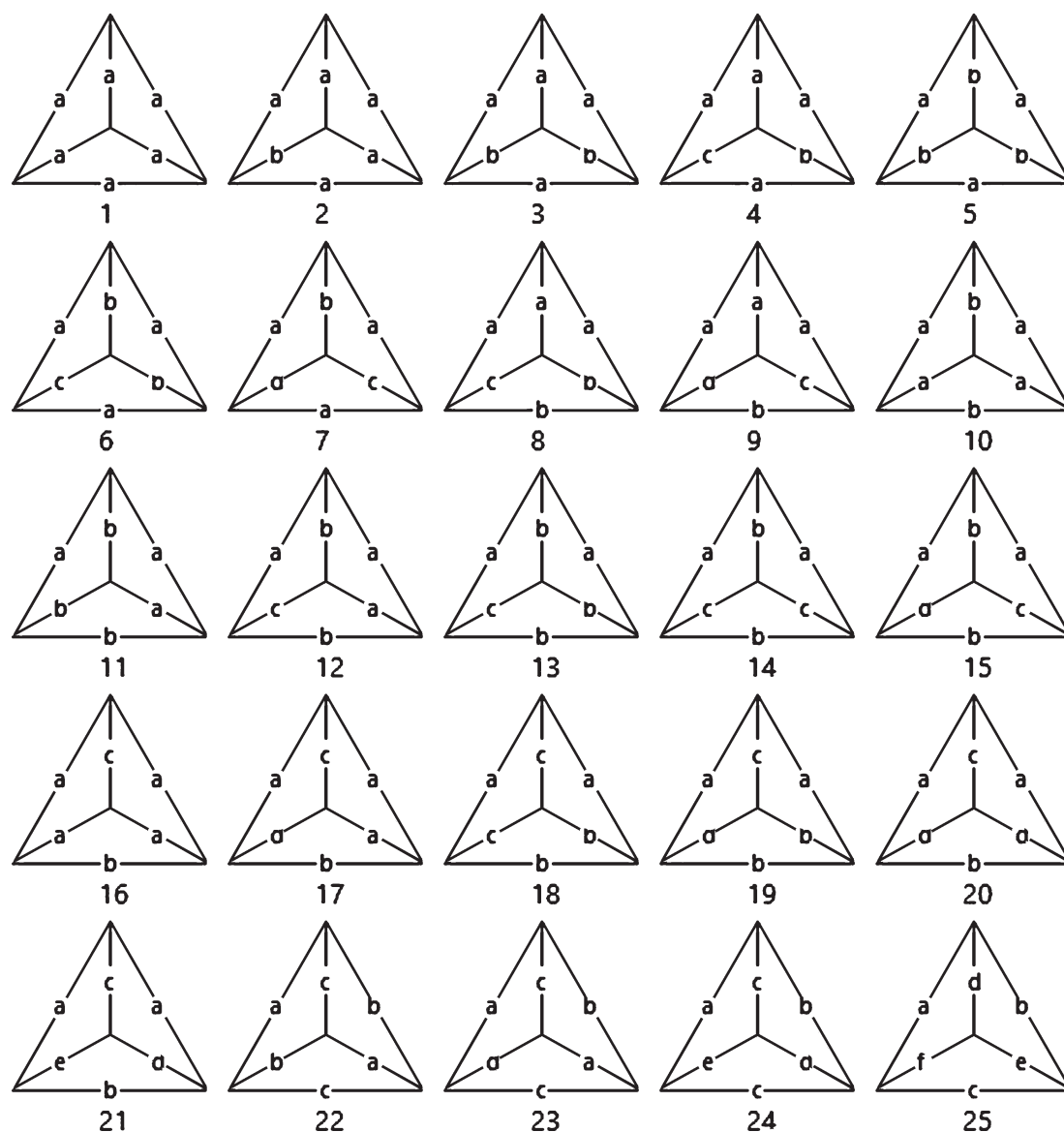


Рис. 1. Комбинаторно-геометрические типы тетраэдров. Пояснения в тексте

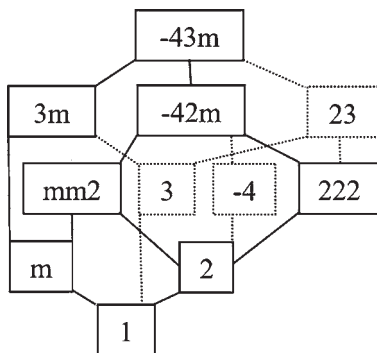
Fig. 1. Combinatorial-geometric types of tetrahedrons. See text

**Таблица 1.** Характеристики тетраэдров  
**Table 1.** Characteristics of tetrahedrons

№ на рис. 1 и код No. in Fig.1 and index	Т. г. с. PSG	Интерпретация Interpretation	Сингония Syngony
1 [400]	$-43m$	кубический тетраэдр cubic tetrahedron	кубическая cubic
10 [040]	$-42m$	тетрагональный тетраэдр tetragonal tetrahedron	тетрагональная tetragonal
5 [130]	$3m$	тригональная пирамида + моноэдр trigonal pyramid + monohedron	тригональная trigonal
22 [004]	$222$	ромбический тетраэдр rhombic tetrahedron	ромбическая rhombic
2 [220]; 16 [0,2+2,0]	$mm2$	2 планальных диэдра 2 planal dihedrals	
11 [0,2+2,0]; 12 [022]; 23 [0,0,2+2]	$2$	2 аксиальных диэдра 2 axial dihedrals	моноклинная monoclinic
3 [1,2+1,0]; 6 [112]; 8 [0,2+1+1,0]; 14, 20 [0,1+1,2]	$m$	планальный диэдр + 2 моноэдра planal dihedron + 2 monohedra	
4 [1,1+1,1]; 7 [1,0,1+1+1]; 9, 13, 18 [0,1+1+1,1]; 15, 21 [0,1,1+1+1]; 17, 19 [0,1+1,1+1]; 24, 25 [0,0,1+1+1+1]	$1$	4 моноэдра 4 monohedra	триклинная triclinic

### Исключения

Нетрудно заметить, что все т. г. с. в таблице — это подгруппы т. г. с.  $-43m$  кубического тетраэдра (Вайнштейн, 1979). Но почему среди них нет т. г. с.  $3$ ,  $23$  и  $-4$  (рис. 2)? Понять это несложно. В случае т. г. с.  $3$



**Рис. 2.** Подгруппы точечной группы симметрии  $-43m$ .  
Пояснения в тексте

**Fig. 2.** Subgroups of the symmetry point group  $-43m$ . See text

ось симметрии  $L_3$  тетраэдра должна проходить через вершину и центр противоположной грани. Но тогда она равносторонняя, а боковые грани равнобедренные — получаем тетраэдр [130] ( $3m$ ). В случае т. г. с.  $23$  ( $3L_24L_3$ ) повторим рассуждение для  $4L_3$  и получим тетраэдр [400] ( $-43m$ ). В случае т. г. с.  $-4$  инверсионная ось  $L_{i4}$  проходит через середины двух ребер, которые отождествляет. Она же уравнивает 4 других ребра — получаем тетраэдр [040] ( $-42m$ ).

По сути, построить тетраэдры с т. г. с.  $3$ ,  $23$  и  $-4$  не позволяет малое число граней, к тому же все треугольные. Ранее на многообразиях выпуклых 4-...12-эдров и простых 13-...16-эдров показано, что при большем числе граней разные соединения даже одного набора могут давать огромное число комбинаторно различных полиэдрических форм (Войтеховский, Степенщиков, 2008).

### Заключение

Рассмотренная задача о тетраэдрах хороша уже тем, что на простом примере показывает студентам стиль решения перечислительных задач, приведших к фундаментальным константам: 14 решеток О. Браве (ранее их нашел М. Франкенгейм, но — увы — 15, а не 14), 32 т. г. с. — А. В. Гадолина (ранее их нашел И. Гессель, но результат был надолго забыт), 47 простых форм и 230 пространственных групп симметрии Е. С. Федорова — А. Шенфлиса (оба поначалу ошиблись на 2—3 группы, но указали друг другу на это в переписке) и многие другие в высших разделах кристаллографии (многомерной и цветной). Одним словом, на этом примере всякий студент может проверить, годится ли он для работы в этой области.



**Рис. 3.** Рождественская поздравительная открытка из архива Д. П. Григорьева: «Die Kristallographie im „Hortus Sanctus“ des Jacob Meydenbach zu Mainz 1491». («Кристаллография в „Священном саду“ Якоба Мейденбаха, Майнц, 1491». — Пер. Ю. В.)

**Fig. 3.** X-mas greeting card from the archive of D. P. Grigoriev: «Crystallography in Jacob Meidenbach's «Hortus Sanctus» in Mainz in 1491»



Казалось бы, что может быть проще тетраэдра? Но напомним, что именно на нем О. Браве увидел инверсионную ось симметрии ( $L_{i4}$ ), о которой до того геометры не знали более 2000 лет. В кристаллографии и кристаллохимии тетраэдр — незаменимая фигура. Задолго до их становления тетраэдр можно видеть в первых средневековых энциклопедиях по естественным наукам (рис. 3). А он все продолжает ставить перед нами вопросы. Представляется, что вывод комбинаторно-геометрических видов тетраэдров поможет студентам прочно усвоить концепцию простых форм и их комбинаций.

*Автор благодарит рецензента за тщательное рассмотрение рукописи и весьма квалифицированные замечания.*

### Литература / References

- Вайнштейн Б. К. Современная кристаллография. Т. 1. Симметрия кристаллов, методы структурной кристаллографии. М.: Наука, 1979. 384 с.
- Weinstein B. K. Modern crystallography. V. 1. Symmetry of crystals, methods of structural crystallography. Moscow: Nauka, 1979, 384 p. (in Russian)
- Войтеховский Ю. Л., Степеничиков Д. Г. Комбинаторная кристалломорфология. Кн. IV. Выпуклые полиэдры. Т. 1. 4-...12-эдры; т. 2. Простые 13-...16-эдры. Апатиты: КНЦ РАН, 2008. Т. 1 — 833 с., т. 2 — 828 с.
- Voytekhovsky Yu. L., Stepenschikov D. G. Combinatorial crystal morphology. Book IV: convex polyhedra. V. 1: 4-...12-hedra, vol. 2: simple 13-...16-hedra. Apatity: Kola SC RAS, 2008, V. 1, 833 p., V. 2, 828 p. (in Russian)
- Кантор Г. Труды по теории множеств. М.: Наука, 1985. 430 с.
- Cantor G. Works on set theory. Moscow: Nauka, 1985, 430 p. (in Russian)
- Попов Г. М., Шафрановский И. И. Кристаллография. М.: Высшая школа, 1964. 370 с.
- Popov G. M., Shafranovsky I. I. Crystallography. Moscow: Vysshaya shkola, 1964, 370 p. (in Russian)
- Чупрунов Е. В., Хохлов А. Ф., Фаддеев М. А. Основы кристаллографии. М.: Физматлит, 2004. 500 с.
- Chuprunov E. V., Khokhlov A. F., Faddeev M. A. Fundamentals of Crystallography. Moscow: Fizmatlit, 2004, 500 p. (in Russian)

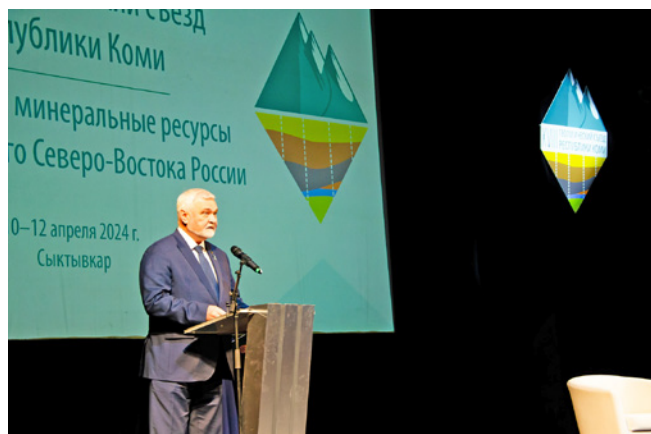
Поступила в редакцию / Received 20.03.2024

## XVIII Геологический съезд Республики Коми

## The 18th Geological Congress of the Komi Republic

On April 10–12, 2024, the 18th Geological Congress of the Komi Republic “Geology and mineral resources of the European North-East of Russia” was held. Geologists from various regions of the Russian Federation and abroad took part in the Congress. Plenary reports and sessions discussed key problems of geology, results of geological exploration over the past period, the development and use of the mineral resource base, and prospects for the development of the most important branches of the mining industry.

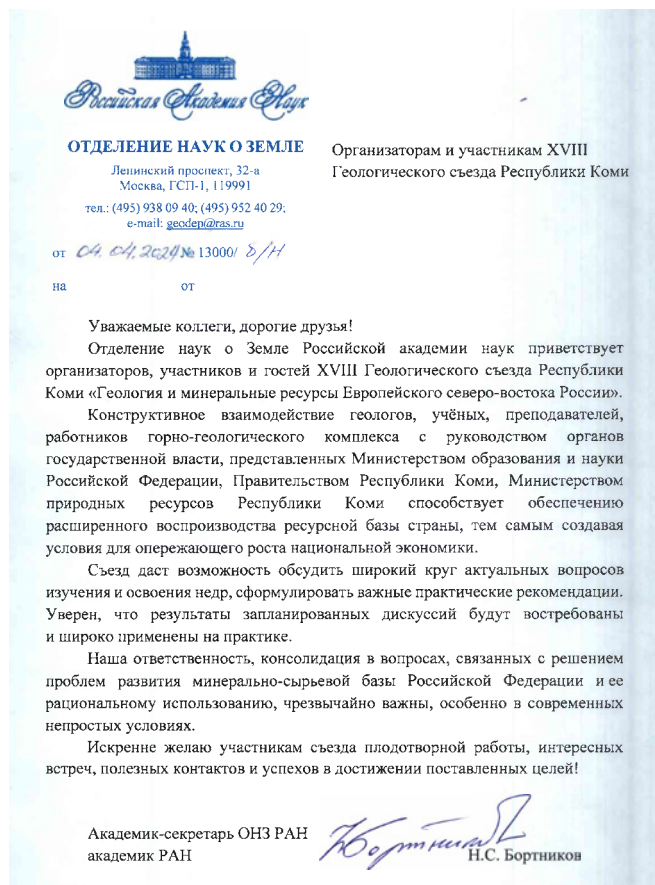
10–12 апреля 2024 г. в соответствии с распоряжением Правительства Республики Коми (№ 625-р от 29 ноября 2023 г., с изменениями от 27 февраля 2024 г. № 101-р) состоялся XVIII Геологический съезд Республики Коми «Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России». Съезд ставил своей целью организовать широкую встречу геологов, горняков, недропользователей, ученых, всех заинтересованных лиц для представления последних достижений



Вступительное слово Главы РК В. В. Уйба  
Welcome speech by the Head of the Komi Republic V. V. Uyba



Доклад первого заместителя председателя Правительства РК Э. А. Ахмеевой  
Report by First Deputy of the Head of Government of the Komi Republic E. A. Akhmeeva



Председатель Государственного совета РК С. А. Усачёв и директор Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН И. Н. Бурцев на научно-технической выставке  
The Head of the State Council of the Komi Republic S. A. Usachev and Director of the Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS I. N. Burtsev at the Scientific and Technical exhibition



в области геологического изучения территории, оценки состояния минерально-сырьевой базы и перспектив ее развития, обсуждения проблем недропользования.

В работе съезда приняло участие более 500 специалистов из научно-исследовательских организаций — академических и отраслевых, производственных организаций геологического профиля, предприятий-недропользователей, университетов и других учреждений высшей школы. Также участниками стали члены Правительства РК, главы администраций муниципальных районов, руководители федеральных и региональных органов государственного управления.

География участников включала города: Сыктывкар, Сосногорск, Инту, Усинск, Ухту, Воркуту, Вуктыл, Печору, Санкт-Петербург, Москву, Екатеринбург, Пермь, Мурманск, Ростов-на-Дону, Челябинск, Салехард, Улан-Удэ, Симферополь, Томск, Воронеж, Якутск, Черноголовку, Новосибирск, Нижневартовск, Нарьян-Мар, Апатиты, Казань, Калининград, Кунгур, Геленджик, Архангельск, Краснодар, Иркутск, Читту, Бузулук, Петрозаводск. Зарубежные участники представляли Беларусь (Минск), Азербайджан (Баку), Китай (Нанкин), Кыргызстан (Бишкек) и Узбекистан (Ташкент).

Научная программа совещания предусматривала заслушивание пленарных докладов по основным направлениям, проведение секционных заседаний, рассмотрение стендовых докладов и дискуссии.

Пленарное заседание проводилось в зале Академического театра имени В. Савина.

**СПЕЦИАЛЬНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ  
ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО МЕЖДУНАРОДНОМУ СОТРУДНИЧЕСТВУ  
В АРКТИКЕ И АНТАРКТИКЕ**

127025, Москва, Новый Арбат д. 19, телефон (495) 697 51 78, факс (495) 697 80 36, president@aspolrf.ru

Приветствую участников XVIII Геологического съезда!

Богатейшие недра нашей страны — одна из опор устойчивого развития экономики. Дальнейшее развитие геологоразведки — это вопрос обеспечения национальной минерально-сырьевой и энергетической безопасности, что особенно актуально в условиях современных вызовов. В том числе, огромный сырьевой потенциал арктических регионов России. В месторождениях, разведанных на территории одной только Республики Коми, сосредоточено около 80% общероссийских запасов кварцево-жильного сырья, порядка 50% титана и 30% бокситов, а также уголь, нефть и другие ресурсы. В целом в Арктике сконцентрировано порядка 90% извлекаемых ресурсов углеводородов всего континентального шельфа страны. Здесь же добывают такие ценные для промышленности металлы, как никель, палладий, кобальт и т.д. При этом богатые углеводородами, металлами, минералами и редкоземельными элементами недра арктической зоны — это не только сырьё для промышленности. Это также новые рабочие места, стимул для развития науки, социальной инфраструктуры, и многое другое.

Сегодня здесь собрались те, чья работа имеет важнейшее значение для всех перечисленных процессов. Геологическая отрасль остаётся локомотивом экономического роста страны. Вопросы оценки и развития минерально-сырьевой базы, а также подготовки квалифицированных кадров в настоящее время не только не теряют важности, но и напротив, становятся всё более актуальными.

В ходе деловой программы компетентные эксперты представят передовые достижения в области геологического изучения территорий, дадут оценку состоянию минерально-сырьевой базы и обсудят перспективы её развития.

Желаю всем присутствующим успешной и продуктивной работы!

С уважением

А. Н. Чилингаров



СОВЕТ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО СОБРАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**СЕНАТОР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ул. Б.Дмитрова, д. 26, Москва, 103426

«9» апреля 2024 г.

№ 30/01-17

Участникам XVIII Геологического съезда  
Республики Коми «Геология и  
минеральные ресурсы Европейского  
северо-востока России»

Уважаемые участники съезда!

Приветствую Вас на XVIII Геологическом съезде Республики Коми «Геология и минеральные ресурсы Европейского северо-востока России».

Геологическая отрасль является одной из ключевых в Республике Коми, как и в целом для национальной и экономической безопасности страны. Она способствует созданию новых промышленных производств, развитию транспортной инфраструктуры и расширению экспортного потенциала.

Республика Коми обладает мощным минерально-сырьевым комплексом, являющимся основой для развития экономики региона и страны.

Настоящей сокровищницей самых разнообразных природных ресурсов является Арктика. Нефть, природный газ и редкоземельные металлы необходимы как для развития промышленности, так и для жилищно-коммунальных, частных нужд. Арктический полярный северный регион — место, где активизируется по мере истощения более доступных месторождений. Ресурсы Арктики в сфере добычи нефти и природного газа играют все более существенную роль. Россия активно ведет геологические исследования в данном регионе. Многие месторождения еще предстоит разведать.

Однако природные ресурсы Арктики сосредоточены не только в ее недрах.

Например, здесь располагается ценнейший ресурс — запасы пресной воды, составляющие, по оценкам специалистов, до пятой части общемирового. Чистая пресная вода в перспективе станет более важным ресурсом, чем углеводороды. Эксперты уже сегодня называют ее нефтью будущего и предрекают, что вода обгонит топливо по цене. Живая, не прошедшая процедуры очистки вода может стать самой прибыльной статьёй российского экспорта. Поэтому так важно сохранить чистоту арктических вод.

Одним из ключевых факторов развития Арктики должно стать привлечение молодых специалистов, инженерных кадров, повышение уровня материальной обеспеченности, профессиональной подготовки.

Уверена, что все эти вопросы будут подробно проанализированы на съезде.

Желаю всем участникам съезда эффективной и плодотворной работы.

С уважением,

Е.Б. Шумилова

С приветственными словами к участникам съезда обратились Глава Республики Коми В. В. Уйба, Председатель Государственного совета Республики Коми С. А. Усачев, председатель Российского геологического общества Г. А. Машковцев.

В адрес Геологического съезда также поступили приветствия от специального представителя Президента Российской Федерации по международному сотрудничеству в Арктике и Антарктике, президента Межрегиональной общественной организации «Ассоциация полярников» А. Н. Чилингарова, сенатора Российской Федерации Е. Б. Шумиловой, академика-секретаря Отделения наук о Земле Российской академии наук Н. С. Бортникова.

В начале заседания состоялась торжественная церемония вручения Главой Республики Коми





В. В. Уйба государственных наград Российской Федерации и Республики Коми.

За значительный вклад в развитие науки, образования и многолетнюю плодотворную работу Орденом Ивана Павловича Морозова был награжден Владимир Никитич Землянский — доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники Республики Коми, совсем недавно отметивший 90-летний юбилей.

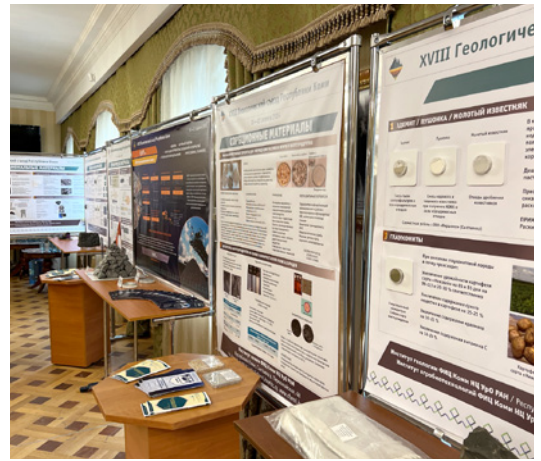
За большой вклад в развитие науки и многолетнюю добросовестную работу почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации» присвоено Владимиру Ивановичу Ракину — доктору геолого-минералогических наук, главному научному сотруднику лаборатории экспериментальной минералогии Института геологии.

За большой вклад в развитие науки и многолетнюю добросовестную работу Благодарность Главы Республики Коми была объявлена Ивану Сергеевичу Котику — кандидату геолого-минералогических наук, старшему научному сотруднику лаборатории геологии нефтегазоносных бассейнов Института геологии и Артему Евгеньевичу Шмырову — начальнику отдела «Центр пробоподготовки и обработки каменного материала» Института геологии.

Чуть позже некоторым геологам Республики Коми президентом Российского геологического общества Г. А. Машковцевым были вручены членские билеты и памятные награды.

В пленарных докладах рассматривались актуальные вопросы подготовки, развития и освоения минерально-сырьевой базы Республики Коми: состояние минерально-сырьевой базы и основные итоги геолого-разведочных работ в Северо-Западном федераль-

ном округе (М. Б. Тарбаев, Севзапнедра); развитие ресурсной базы Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции за счет геолого-разведочных работ (А. Д. Саэтгараев, ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь», Пермь); текущее состояние и перспективы развития Среднетиманского бокситового рудника (Ю. В. Иванов, АО «Боксит Тимана», ОК «РУСАЛ», Ухта); перспективы развития геолого-разведочных и добычных работ в Арктической зоне Российской Федерации (Г. А. Машковцев, ВИМС, Москва); роль и значение Республики Коми в развитии минерально-сырьевой базы титана России (А. А. Новиков, ГК «Руститан», Москва); сырьевая углеводородная база Республики Коми, состояние, проблемы и пути их решения на современном этапе (В. Б. Ростовщиков, УГТУ, Ухта); кадровое обеспечение арктических проектов (М. В. Груздева, МОО АСПОЛ, Москва); состояние и перспективы минерально-сырьевой базы Республики Коми (Е. А. Киселевич, Минприроды РК, Сыктывкар); состояние и перспективы развития регионального геологического изучения Республики Коми (М. А. Шишкин, Институт Карпинского, Санкт-Петербург); будущее геолого-геофизического образования в Республике Коми: история, состояние и перспективы (Н. П. Демченко, УГТУ, Ухта; Т. П. Майорова, СГУ, Сыктывкар); стратегическое, критическое сырье в Российской Федерации и проблема редких и рассеянных элементов сульфидных руд (И. В. Викентьев, ИГЕМ РАН, Москва); особенности применения современного оборудования для сканирующей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа при исследовании минеральных веществ (В. В. Козлов, ООО «ГТК Синтез», Екатеринбург).



Тематические заседания проводились на шести рабочих площадках по 12 тематическим направлениям.

На заключительном пленарном заседании 12 апреля 2024 г. были заслушаны следующие доклады: программа стратиграфического бурения ПАО НК «Роснефть» (RoSDAr) в морях Российской Арктики (Н. А. Малышев, ПАО НК «Роснефть»); состояние и перспективы угледобывающей отрасли Республики Коми (А. П. Шипунов, ООО «ГРР», Воркута); цифровая тектоническая карта северо-востока европейской части России масштаба 1:2 500 000 (М. А. Шишкин, Институт Карпинского, Санкт-Петербург); особенности формирования алмазносных парагенезисов литосферной мантии восточной окраины Русской платформы (Д. А. Зедгенизов, ИГГ УрО РАН, Екатеринбург); минерально-сырьевые ресурсы в социально-экономическом развитии Республики Коми (И. Н. Бурцев, ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Москва); экономически важные твердые полезные ископаемые Республики Карелия (В. В. Щипцов, ИГ ФИЦ КарНЦ РАН, ПетрГУ, Петрозаводск); геологоразведочные работы на Якшинском месторождении минеральных (калийно-магниевых) солей (О. А. Степанов, ООО «Полярноуралгеология», Сыктывкар, ООО «Трейдпромсервис», Москва).

На пленарных заседаниях и в работе тематических секций съезда прошло открытое обсуждение острых проблем, была показана важнейшая роль геологоразведочных работ, добычи полезных ископаемых академической и отраслевой науки в реализации программ социально-экономического развития Республики Коми и Российской Федерации, обеспечении минерально-сырьевой, энергетической и экономической безопасности страны, создании новых технологий и производств.

Всего на съезде было представлено 19 пленарных докладов, 128 устных и 80 стендовых докладов на секционных заседаниях. По итогам опубликован сборник в трех томах, включающий в себя 227 докладов 388 авторов.

В рамках XVIII Геологического съезда особое внимание участников и гостей привлекло проведение научно-технической выставки по направлениям «Минеральные ресурсы Республики Коми» и «Новые материалы на минеральной основе».

На выставке были показаны новые продукты и материалы, полученные в институтах ФИЦ Коми НЦ УрО РАН и на промышленных предприятиях из минераль-

ного и органоминерального сырья: сорбционные, строительные, керамические материалы, мелиоранты, продукты переработки углей, функциональные материалы. По тематическим направлениям свои экспозиции представили Институты геологии и химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. В рамках междисциплинарных исследований были показаны совместные разработки с Институтом биологии и Институтом агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ИППЭС КНЦ РАН (Апатиты), а также производственными организациями: ООО «Карьероуправление–Север», ООО «Вершина» (Сыктывкар), ООО «Трейдпромсервис» (Москва).

Специалистами компаний ООО «ГТК Синтез» (Екатеринбург) и ООО «НП ВИЖН» (Москва) были продемонстрированы разработки в области аналитических методов изучения минерального вещества. Также были представлены стенды и информационные материалы партнеров, оказавших финансовую и материальную поддержку: ГК «Руститан», ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь», АО «Комнедра», ООО «Карьероуправление-Север», ООО «Севертрансэкскавация», ООО «Артезианский источник» ООО «Фирма Исток-Д», ООО «Омиа-Урал», ООО «Коми республиканская типография», ООО «Вербунг».

Информационная поддержка оказывалась электронными и печатными средствами массовой информации: интернет-порталами, газетами, журналами, радио- и телевизионными каналами, по результатам каждого дня публиковались информационные материалы.

В ходе работы съезда собирались предложения для включения в проект решения. На заключительной дискуссии было составлено Решение XVIII Геологического съезда, которое станет основой для планирования развития минерально-сырьевой базы региона на средние и долгосрочную перспективу.

Участники XVIII Геологического съезда, представляющие широкие круги российского геологического сообщества, отметили высокую значимость проводимых в Республике Коми съездов для рассмотрения результатов геолого-разведочных работ, распространения новых знаний и геологических парадигм, формирования перспективных направлений развития минерально-сырьевой базы, создания новых центров экономического роста, в первую очередь в северных и арктических регионах страны.

*К. г.-м. н. Е. В. Антропова*

*Фото А. Ерофеевского, А. Журавлева, А. Понарядова*

## Секции 1, 2, 3

- Региональная геология, тектоника, геодинамика
  - Петрология, магматизм, геохронология
  - Природные и техногенные геосистемы

На секциях было представлено 23 устных и 4 стендовых доклада. Работа объединенных секций была построена таким образом, что в первой половине дня были заслушаны сообщения по региональной геологии, геодинамике и тектонике, а во второй основной упор был сделан на доклады по петрологии, магматизму, метаморфизму и геохронологии. В заседании принимали участие сотрудники разных научных и образовательных организаций России (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО



А. С. Шуйский (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар)

A. S. Shuisky (IG FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar)

РАН, Сыктывкар; Крымская АН, Симферополь; СПбГУ, Институт наук о Земле, Санкт-Петербург; Гидроспецгеология, ИФЗ РАН, ГИН РАН, РГУНГ, Москва; ИГТ УрО РАН, УГГУ, Екатеринбург; ГИН СО РАН, Улан-Удэ).

Два доклада (А. А. Соболева, А. М. Пыстин) были посвящены возрастным ограничениям, источникам сноса терригенных образований и проблемам корреляции докембрийских стратифицированных отложений Тимано-Североуральского региона. Продолжая U-Pb-датирование детритового циркона из немых толщ верхнего докембрия разных частей Канино-Тиманского кряжа, авторам удалось выявить различия в возрастных данных поступающего терригенного материала, связанные с питающими провинциями. Подтвержден позднерифейский возраст отложений Полярного и Приполярного Урала и выявлена сопоставимость возрастных спектров циркона из образований Приполярного Урала и Канино-Тиманского кряжа, что указывает на их принадлежность к одной и той же пассивной окраине. В рамках этой темы актуален был доклад В. Б. Хубанова, в котором исследователь популяризировал метод лазерной абляции с ионизацией в индуктивно связанной плазме и масс-спектрометрическим окончанием, являющийся востребованным, наиболее доступным и простым в пробоподготовке.

В нескольких докладах (С. Н. Сычев, Н. С. Уляшева, Е. В. Кушманова) показаны результаты исследований эволюции метаморфизма пород осевой зоны севера

Урала. Отмечена связь средне- и высокотемпературных изменений повышенных давлений образований Полярного Урала с палеозойскими коллизионными процессами формирования уральского орогена.

В ряде докладов рассматривалась петрология магматических комплексов Тимано-Североуральского региона (О. В. Удоратина, А. С. Шуйский, Т. А. Вовчина, А. М. Шмакова), а также северной части Пай-Хоя (К. В. Куликова). О. В. Удоратина в своем докладе представила обобщенные данные по U-Pb-геохронологии и изотопно-геохронологические характеристики гранитоидов севера Урала и презентовала недавно вышедшую коллективную монографию «Гранитоиды севера Урала: геохронология, эволюция, источники».

В докладе В. В. Удоратина были представлены результаты изучения радоновой аномалии, приуроченной к зоне Вычегодско-Локчимского разлома, и предложены источники, приведшие к высокой концентрации радона. Н. Н. Носкова привела обзор региональных сейсмических событий природного и техногенного происхождения в пределах Республики Коми за 2018–2023 гг. Данные по комплексным геофизическим и петрофизическим исследованиям неркаюского метаморфического комплекса были освещены в докладе Т. А. Пономаревой.



Участники секции на докладе О. В. Удоратиной (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар)

Section participants are listening to the report by O. V. Udoratina (IG FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar)

Интерес вызвали доклады, посвященные фанерозойским структурам и тектонике Урала, прилегающих и других территорий (В. В. Юдин, В. А. Душин, В. Ф. Подурушин, М. Г. Леонов). Прозвучали сообщения о докембрийских комплексах других регионов России и их эволюции (К. А. Докукина, Е. Н. Терехов, П. С. Козлов).

Новые геологические материалы также были представлены в докладах Ю. В. Голубевой и Т. С. Егорова.

**К. г.-м. н. Н. С. Уляшева**  
Фото Е. В. Кушмановой



## Секции 4, 5, 6

- Литология и геохимия
- Палеонтология и стратиграфия
- Цифровые технологии и методы моделирования в геологии и горном деле

На заседании 4, 5 и 6 секций были представлены 23 устных и 13 стендовых докладов специалистов из разных научно-исследовательских институтов и производственных организаций: ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар), ТП НИЦ (Ухта), АО «Гипроцветмет» (Москва), Сыктывкарского сектора Института Карпинского (Сыктывкар), ГИ СО РАН (Улан-Удэ), ПМГРЭ (Санкт-Петербург), Сыктывкарского университета (Сыктывкар), ФИЦКИА УрО РАН (Архангельск), Вятского палеонтологического музея (Киров), ПИН РАН (Москва).

Сообщения литолого-геохимического направления в основном были посвящены разнообразным исследованиям литолого-геохимических и геодинамических особенностей фанерозойских осадочных формаций Тимано-Североуральского региона, фаціальных особенностей осадконакопления, геологического строения и условий формирования отложений, формационному анализу и роли бактерий в образовании отложений (доклады А. И. Антошкиной с соавторами, Е. Л. Петренко, Е. С. Пономаренко и Л. А. Шмелевой, К. П. Рязанова, А. И. Антошкиной и В. А. Салдина, А. Н. Сандулы). Заметный интерес не только геологической аудитории, но и специалистов-почвоведов из Института биологии ФИЦ УрО РАН (Сыктывкар) вызвал доклад В. А. Исакова и Н. Н. Воробьева (ИГ ФИЦ Коми НЦ УРО РАН), в котором рассматривались результаты сравнительного анализа гранулометрического состава четвертичных отложений пипеточным методом Н. А. Качинского и методом лазерной дифракции. Уже традиционно одним из самых интересных сообщений был доклад И. Г. Добрецово́й с коллегами, в котором рассказывалось о необычных находках в кальдере подводного вулкана на Среднем атлантическом хребте, полученных в ходе глубоководных исследований во время длительных экспедиций на научно-исследовательском судне.

В палеонтолого-стратиграфических докладах рассматривались актуальные вопросы изучения эволю-

ции и биостратиграфического значения ортостратиграфических групп, как, например, в крупном эмпирическом обобщении филоморфогении конодонтов рода *Siphonodella* (А. Н. Плотицын, А. В. Журавлев), проблемы палеоэкологии брахиопод (А. В. Ерофеевский, Д. А. Груздев), данные о новых местонахождениях пермских тетрапод (И. С. Шумов с коллегами), мате-



Участники секции на докладе в Институте биологии, Сыктывкар

Participants of the section are listening to a report at the Institute of Biology, Syktyvkar

риалы о юрских диноцистах (Л. А. Селькова), позднеледниковая история микротерииофауны (И. В. Кряжева), а также анализ условий обитания шерстистого носорога в позднем плейстоцене на основе изотопных данных (А. М. Хубанова с коллегами). В докладах Л. В. Соколовой с коллегами и П. А. Безносова рассматривались вопросы стратиграфии палеозойских осадочных толщ. Ряд докладов были посвящены проблемам генезиса, геологического строения и стратиграфической приуроченности отложений квартера (В. А. Жарков, С. И. Терентьев, Д. В. Пономарев с коллегами), причем традиционно не обошлось без дискуссии маринистов и гляциалистов.

Секция «Цифровые технологии и методы моделирования в геологии и горном деле» впервые проходила в рамках Геологического съезда Республики Коми, и ее дебют следует признать успешным. Доклады были посвящены результатам применения технологий машинного обучения, искусственного интеллекта, цифрового моделирования, баз данных для геологических исследований разного профиля (палеонтологии, инженерной геологии, поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, составления геологических карт). В докладе Н. Н. Бабиковой с соавторами рассматривалась актуальность и возможности цифровой трансформации процесса диагностики девонских спор, а сообщения А. В. Журавлева с коллегами были посвящены применению технологий машинного обучения для анализа динамики осадков береговой зоны моря



Доклад И. Г. Добрецово́й (ПМГРЭ, Санкт-Петербург)

Report by I. G. Dobretsova (Polar Marine Geosurvey Expedition, Saint Petersburg)



Участники секции 4, 5, 6 / Participants of sections 4, 5, 6

и автоматизированной диагностики карбонатных пород по микрофотографиям шлифов. В докладе Ю. Г. Кутинова с коллегами приводились результаты применения цифрового моделирования рельефа для прогноза кимберлитового магматизма и областей нефтегазоаккумуляции методами геоморфометрического анализа структуры поверхности современного рельефа с использованием ГИС-технологий. В стендовом докладе К. С. Попвасева с соавторами были представлены результаты разработки базы данных фондов Геологического музея им. А. А. Чернова.

Все доклады были посвящены актуальным проблемам направлений и вызвали явный интерес аудитории. Очевидно, что прогресс в изучении и освоении недр нашего региона невозможен без детальных исследова-

ний разнообразных особенностей формирования осадочных комплексов, обоснования их расчленения и корреляции на основе комплекса методов стратиграфии, а также внедрения цифровых методов исследований, таких как технологии машинного обучения и искусственного интеллекта, цифрового моделирования и др. Поэтому участники секций считают необходимым продолжать и расширять выполнение работ по данным направлениям как имеющим важное значение для решения широкого круга задач геологического изучения недр, в том числе научно-исследовательских, геологосъемочных и геолого-разведочных работ.

*Д. г.- м. н. Д. В. Пономарев,  
м. н. с. К. С. Попвасев, к. г.- м. н. А. Н. Сандула  
Фото Д. Груздева и А. Ерофеевского*

## Секция 7

### Геология нефти и газа

Заседание секции проходило 11 апреля, в нем приняли участие 60 человек, в том числе ветераны нефтегазовой отрасли и представители органов исполнительной власти. Обсуждались насущные проблемы нефтегазовой геологии, направлений поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений, было заслушано 20 докладов.

В работе секции принимали участие представители ведущих предприятий нефтегазовой отрасли, научно-исследовательских и сервисных организаций, а также представители органов исполнительной власти: ВНИГНИ (Москва), ИГиГРИ (Москва), МГУ (Москва), ПАО НК «Роснефть», «РН-Эксплорейшн», (Москва), СУНГК (Москва), ООО ТП НИЦ (Ухта), филиала ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в г. Ухте, УГТУ (Ухта), ПАО НК «ЛУКОЙЛ», ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» (Пермь, Усинск), Санкт-Петербургского горного университета (Санкт-Петербург), «ТомскНИПИнефть» (Томск), ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар), ООО «ГеоПрайм» (Ухта), Тимано-Печорского филиала ГКЗ (Сыктывкар), Севзапнедра (Санкт-Петербург, Сыктывкар), АО «Комнедра», «Газпром добыча Краснодар», АО «Инвест-



В дискуссии принимают участие заведующий кафедрой Санкт-Петербургского горного университета О. М. Прищепца и заместитель директора ООО «ТП НИЦ» С. В. Сенин

The discussion is attended by the Head of the department of St. Petersburg Mining University O. M. Prishchepa and Deputy Director of Timan-Pechora Research Center S. V. Senin



Участники секции «Геология нефти и газа»  
Participants of the section “Geology of Oil and Gas”

геосервис», АО «Печоранефтегаз» (Ухта), АО «Тимано-Печорская газовая компания», АНО «Северное сияние» (Ухта).

В ходе работы секции обсуждались итоги геолого-разведочных работ на нефть и газ за счет средств федерального бюджета. А. Г. Сотникова (ФГБУ «ВНИГНИ») отметила, что основными задачами региональных геолого-разведочных работ в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции является подготовка новых направлений для лицензирования (сложнопостроенные и малоизученные периферийные районы), а также выявление нефтегазоносности глубокопогруженных комплексов. Она обратила внимание на необходимость проведения ГРП за счет государственного финансирования, т. к. это позволит повысить темпы лицензирования в долгосрочной перспективе, определить стратегию проведения работ и минимизировать риски.

Большой интерес у участников съезда вызвал доклад С. В. Сенина (ООО «ТП НИЦ»), посвященный подготовке к изданию Атласа геологического строения

Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Для обоснования приоритетных поисковых направлений на нефть и газ в Тимано-Печорском нефтегазоносном бассейне сотрудниками ООО «ТП НИЦ» на протяжении многих десятилетий ведутся исследования по обобщению результатов геолого-разведочных работ и выяснению литолого-фациальных и структурных критериев размещения залежей углеводородного сырья. С этой целью выполняются литолого-фациальные карты по территории всего бассейна в масштабе 1 : 500 000 и структурные — в масштабе 1 : 200 000. На базе этих среднемасштабных карт в 2000 году большим коллективом специалистов был подготовлен и издан Атлас геологических карт в масштабе 1 : 2 500 000 и пояснительная записка к нему. Атлас сразу же нашел широкое применение в Республике Коми, Ненецком автономном округе и в других регионах европейской части России. Он использовался при планировании геолого-разведочных работ государственными органами, а также научно-исследовательскими организациями при



С докладом выступает представитель ВНИГНИ  
К. О. Соборнов  
K. O. Sobornov from VNIGNI makes a presentation



Докладчик от «ТомскНИПИнефть» Н. В. Обласов  
N. V. Oblasov (TomskNIPIneft) makes a presentation



проведении исследований. Докладчик обратил внимание на то, что финансирование литолого-фациальных исследований и первое издание атласа было осуществлено полностью за счет средств бюджета Республики Коми. За истекшие почти четверть века с момента первого издания атласа геологических карт на территории Тимано-Печорской провинции был выполнен большой объем геолого-разведочных работ на нефть и газ, следовательно, в настоящее время назрела необходимость обновить атлас и подготовить его к переизданию.

Актуальность обсуждения и выработки единых методических подходов к количественной оценке ресурсной базы углеводородов в регионе не снижается на протяжении последних лет. А. В. Куранов (ООО «ТП НИЦ») отметил, что проблема восполнения минерально-сырьевой базы углеводородного сырья в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции в целом и Республики Коми в частности стоит достаточно остро. Важнейшим фактором при выборе первоочередных направлений для постановки геолого-разведочных работ на нефть и газ с целью восполнения сырьевой базы является количественная оценка углеводородного сырья, которая выполняется в России раз в 7–8 лет. Ресурсная база углеводородного сырья, согласно последней по времени количественной оценке, осуществленной в 2020 г. во ВНИГНИ, составляет 9.6 млрд т условного топлива. В Республике Коми находится 52.1 % всех ресурсов ТПП, в Ненецком автономном округе — 46.5 %, в Пермском крае (ПК) — 1.4 %.

В последнее время достаточно остро стоит проблема истощения сырьевой базы газовой отрасли Республики Коми. В докладе Ю. В. Кочкиной с соавторами отмечается, что в Вуктыльско-Среднепечорском районе добыча осуществляется на Вуктыльском, Югидском, Западно-Соплесском и Печоро-Кожвинском месторождениях. Разрабатываемые месторождения составляют основу газодобывающего Вуктыльского геолого-экономического района, но находятся на завершающей стадии разработки, в связи с чем падающие темпы добычи приводят к недозагруженности обустроенной системы газопроводов. Этот факт подразумевает как необходимость вовлечения в разработку рядом расположенных месторождений, так и открытие новых залежей, для чего необходимы постановка и проведение детальных ГРП на наиболее перспективных локальных объектах.

В своем докладе В. Н. Данилов также поднял проблему истощения сырьевой базы газовой отрасли. Он отметил, что эта проблема с учетом сопряжения Вуктыльского нефтегазоконденсатного месторождения с газопереработкой добываемого сырья на Сосногорском ГПЗ заставила геологов вновь вернуться к вопросу перспектив поднадвиговых отложений.

Развитию регионов, связанных с Арктической зоной, в настоящее время придается большое значение правительством Российской Федерации и региональными органами управления. Территория Ненецкого автономного округа Архангельской области является одним из приоритетных направлений для освоения нефтегазового потенциала недр Российского Севера. Ресурсная база углеводородного сырья НАО значительна: извлекаемые начальные суммарные ресурсы нефти превышают 3.1 млрд т, свободного газа — более 1046.4 млрд м<sup>3</sup>. Накопленная добыча нефти в НАО со-

ставляет более 310 млн т, свободного газа — более 80 млрд м<sup>3</sup>. М. С. Желудова (ООО «ТП НИЦ») отмечала, что одной из перспективных территорий для наращивания минерально-сырьевой базы углеводородного сырья в НАО является территория Малоземельско-Колгуевской моноклинали, в частности ее восточная прибортовая зона.

Одно из важнейших направлений нефтегазовой геологии — изучение условий формирования и выявления закономерностей пространственного распределения природных резервуаров различного происхождения. Доклад профессора геологического факультета МГУ В. А. Жемчуговой посвящен выявлению закономерностей распределения в разрезе и на площади разнофациальных образований, обладающих неодинаковым емкостным потенциалом, определению характера их гидродинамической связи и сообщаемости по вертикали и латерали. Автор отметил, что для решения этих задач наиболее рациональным и эффективным является ретроспективный анализ условий формирования продуктивных отложений, реализованный в виде седиментационно-емкостного моделирования.

Доклады представителей ООО «ТП НИЦ» Н. И. Никонова, Т. И. Курановой с содокладчиками касались вопросов пространственного распределения пород-коллекторов палеозойского возраста.

Закономерностям нефтеносности ассельско-сакмарских отложений севера Тимано-Печорской провинции был посвящен доклад представителя ООО «ТП НИЦ» Н. И. Никонова.

Т. И. Куранова с содокладчиками (ООО «ТП НИЦ») на основании анализа геолого-геофизических материалов пришли к выводу, что в пределах Верхнелайской депрессии возможно открытие средних и мелких по запасам нефтяных месторождений, приуроченных к отложениям верхнего силура, верхнего девона и перми-карбона.

В последнее время неизменный интерес вызывают проблемы поисков углеводородов на больших глубинах, этому были посвящены доклады представителей Санкт-Петербургского горного университета (О. М. Прищепа) и ИГиРГИ (С. Ю. Паньков).

В ходе обсуждения на съезде отмечалось, что Предуральский краевой прогиб характеризуется сложным геологическим строением, перспективы нефтегазоносности его недостаточно хорошо изучены и требуют дальнейшего изучения и осмысления, поэтому традиционно ряд докладов был посвящен проблемам этой территории.

До настоящего времени гряда Чернышева остается территорией со слабой степенью геологической изученности, несмотря на то, что за последние годы были пробурены скважины, проведены геофизические исследования. Геологическое строение гряды остается в центре внимания геологов. Новые геолого-геофизические данные, характеризующие строение гряды Чернышева и прилегающих районов, позволили К. О. Соборнову (ВНИГНИ) установить связь между развитием соляных структур, образованных верхнеордовикскими эвапоритами, и наличием карбонатных банок в перекрывающих силурийско-нижнепермских отложениях. В представленном докладе он высказал предположение о симбиозе соляных структур и карбонатных построек и отметил, что установление этой связи да-



ет дополнительный инструмент анализа структурно-седиментационного развития бассейна и позволяет повысить точность прогноза нефтегазоносности в районах развития соляных деформаций.

На съезде также были представлены доклады, касающиеся реконструкции кинетики нефтеобразования по термически зрелым образцам (Н. В. Обласов, «ТомскНИПИнефть»). Эти проблемы актуальны в настоящее время, т. к. достоверность бассейнового моделирования зависит от множества факторов, одним из которых является кинетика нефте- и газообразования. Исходные данные, как правило, получают на основе экспериментов по нагреванию нефтематеринских пород либо выделенного из них керогена. Конечным результатом является набор данных, включающих распределение реализации генерационного потенциала по энергиям активации.

Доклад И. С. Котика с соавторами посвящен нефти верхнего девона Денисовского прогиба. Основные

выводы авторов заключаются в том, что нефти из верхнедевонских природных резервуаров по изотопно-геохимическим данным характеризуются однотипным составом, относятся к единому генотипу, источником которого являлись франские нефтематеринские отложения. Наличие собственных нефтематеринских пород в совокупности с вертикальной миграцией из нижнепалеозойских нефтегенерационных источников значительно повышает УВ-потенциал верхнедевонского комплекса Денисовского прогиба.

В докладе профессора геологического факультета МГУ В. А. Жемчуговой были освещены новые требования, предъявляемые работодателями к профессиональным знаниям и навыкам выпускников нефтегеологических специальностей. Автор продемонстрировал методические приемы, разработанные на кафедре и применяемые в учебном процессе.

*К. г.-м. н. Н. Н. Тимонина  
Фото М. Нечаева и И. Ульнирова*

## Секции 8, 9

- Месторождения стратегического и экономически важного минерального сырья
- Минералогия и минерагения

На секциях 8, 9 были рассмотрены материалы, представленные сотрудниками различных научно-исследовательских институтов и производственных геологических организаций: ИГ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар), ИГЕМ РАН (Москва), Института Карпинского (Санкт-Петербург), ООО «Петрофизик», «Ухтагеоцентр» (Ухта), Центра по ООПТ (Сыктывкар), ФГКУ «Росгеоэкспертиза», УГГУ (Екатеринбург), ТФИ РК (Сыктывкар), ГИ КНЦ РАН (Апатиты), СПбГУ (Санкт-Петербург), ИЭМ (Черноголовка), РГ «Иркутскгеофизика» (Иркутск), АО «Гипро-

цветмет» (Москва), ИБХФ РАН (Москва), ГИН (Москва), ИГГ (Екатеринбург), ВИМС (Москва) и других. Присутствовало около 40 специалистов. Заслушано 13 докладов, 10 сообщений представлено в виде стендов.

Большинство докладов были посвящены месторождениям полезных ископаемых севера Урала, Пай-Хоя, Тимана. В частности, С. К. Кузнецовым и И. Н. Бурцевым (ИГ Коми НЦ УрО РАН) сделано обзорное сообщение по различным видам полезных ископаемых, выделены разрабатываемые, перспективные и потенциально пер-



Участники секций «Месторождения стратегического и экономически важного минерального сырья», «Минералогия и минерагения»

Participants of the sections “Deposits of strategic and economically important mineral raw materials”, “Mineralogy and minera-geny”





С. А. Онищенко (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар)  
S. A. Onishchenko (IG FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar)

спективные месторождения, а также площади, представляющие интерес для дальнейшего изучения. В докладе Л. И. Ефановой, Т. П. Майоровой с соавторами (ИГ Коми НЦ УрО РАН) изложены новые данные о золото-сульфидной минерализации Манитанырдского района Полярного Урала. Показано, что этот район заслуживает доизучения, могут быть открыты промышленные месторождения. М. Ю. Сокериним, Ю. В. Глуховым и соавторами (ИГ Коми НЦ УрО РАН) дана прогнозная оценка коренной золотоносности Кыввожского района Среднего Тимана, А. А. Пархачевым с коллегами (Институт Карпинского, Санкт-Петербург, ИГ Коми НЦ УрО РАН) представлены результаты изучения золотоносности одного из участков Цилемского поднятия (Средний Тиман). С. А. Онищенко и С. К. Кузнецовым (ИГ Коми НЦ УрО РАН) детально охарактеризовано самородное золото золотопалладиевого месторождения Чудное (Приполярный Урал).

Большой интерес вызвал доклад С. А. Горобец, Н. Н. Лаптева, А. С. Терентьевой, Н. О. Аксеновской, И. Р. Макаровой («Петрофизик», «Ухтагеоцентр»), в котором они представили новые результаты поисково-разведочных работ на Верхнеухтинском и Бобровом лицензионных участках недр Четласского района Среднего Тимана. Перспективы этих участков оценены положительно в связи с поликомпонентным, прежде всего марганцевым, характером оруденения. А. М. Пыстин, Ю. В. Глухов, А. А. Бушенев выступили с докладом о находке алмаза в Четласском районе и рассмотрели перспективы выявления коренных алмазо-



Г. А. Машковцев (ВИМС, Москва), обсуждение докладов  
G. A. Mashkovtsev (VIMS, Moscow), discussion of the reports

носных объектов. Ю. А. Кузнецов с соавторами (РГ «Иркутскгеофизика», ИГТ УрО РАН, ИБХФ РАН, ВНИГНИ, ВГУ) привели результаты изучения содержания благородных металлов и других элементов в отвалах угольных шахт Воркутинского района.

Обстоятельный доклад сделан Т. П. Митюшевой и И. О. Юркиной (ИГ Коми НЦ УрО РАН, ТФИ РК) о состоянии и освоении ресурсной базы пресных и минеральных вод, лечебных грязей Республики Коми, питьевом и хозяйственном водообеспечении.

Ю. В. Глухов, Б. А. Макеев, О. В. Удоратина, В. И. Ракин выступили с минералогическими сообщениями, касающимися самородного золота и новых редкоземельных минералов Среднего Тимана, с предложениями по уточнению некоторых общеминералогических понятий.

В обсуждении докладов приняли участие Г. А. Машковцев (ВИМС, Москва), М. А. Шишкин (Институт Карпинского, Санкт-Петербург), М. Б. Тарбаев (Коминедра, Сыктывкар), С. К. Кузнецов (ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар) и другие сотрудники. Отмечены целесообразность дальнейшего изучения месторождений и рудопоявлений различных полезных ископаемых, необходимость выделения перспективных площадей для постановки прогнозно-минерагенических работ, снятия некоторых экологических ограничений и более строгого соблюдения технических и экологических требований при поисках и использовании подземных вод.

*Д. г.-м.н. С. К. Кузнецов*  
*Фото В. Уляшева*

## Секция 10

### Новые технологии добычи и переработки минерального сырья

В работе секции приняли участие более 40 человек, включая 9 докторов наук, 10 кандидатов наук из академических, учебных, отраслевых и производственных организаций (Сыктывкар, Москва, Апатиты, Чита, Иркутск, Бузулук). Было заявлено 12 устных докладов, из которых 5 в онлайн-формате. Стендовая презентация включала 4 доклада. Работа секции была связана с проблемами недропользования, технологиями их освоения.

Открылась секция докладом О. Б. Котовой (ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар) и Е. Г. Ожогойной (ВИМС, Москва) «Минералогические критерии оценки комплексных руд в свете современных достижений приборной базы лабораторных исследований». В нём была отражена современная концепция технологической минералогии, направленная на решение прикладных задач, способствующих развитию минерально-сырьевой базы страны.



Участники секции «Новые технологии добычи и переработки минерального сырья»

Participants of the section “New technologies for the extraction and processing of mineral raw materials”



Е. Н. Левченко (ИМГРЭ, Москва) с соавторами, развивая идеи технологической минералогии, продемонстрировала инновационную технологию скважинной гидродобычи глубокозалегающих руд асфальтитов как нетрадиционного сырья. В докладе Н. А. Сычевой (ВИМС, Москва) было показано влияние минералого-технологических особенностей ильменитовых руд на их обогатимость.

Несколько докладов были посвящены технологиям переработки отходов горнорудной индустрии. Л. В. Шумилова и К. К. Размахнин (ЧФ ИГД СО РАН, Чита) продемонстрировали перспективность извлечения золота и серебра из лежалых хвостов золото-извлекательной фабрики экологощадящими реагентами. В докладе Т. А. Чикишевой, А. Г. Комарова, С. А. Прокопьева, Е. С. Прокопьева (ИЗК СО РАН, НПК «Спирит», ИГУ, Иркутск) была показана возможность вовлечения отходов флотации углеобогажительной фабрики «Краснобродская-Коксовая» (Кемеровская область) в комплексную переработку. Д. А. Шушков и Ю. С. Симакова (ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар) познакомили слушателей со способом преобразования зольных отходов ТЭЦ в цеолиты с помощью гидротермального синтеза с микроволновым воздействием.

Блок докладов был посвящен функциональным материалам: керамическим, строительным, сорбционным. А. В. Понарядов и О. Б. Котова (ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар) сообщили о получении муллитовой керамики на основе каолинов и перспективности управления синтезом методами математического моделирования. А. Ю. Бугаева (ИХ Коми НЦ УрО РАН) с соавторами рассказала о получении керамического композита на основе полностью стабилизированного диоксида циркония. Л. Ю. Назарова и Ю. И. Рябков (ИХ Коми НЦ УрО РАН) представили результаты по созданию новых композиционных материалов и изделий на основе серного вяжущего — серобетона. В материалах В. А. Мязина (ИППЭС КНЦ РАН, Апатиты) с соавторами и Т. Н. Щемелининой (ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар) с соавторами продемонстрированы возможности очистки почвы и водных объектов от нефти и нефтепродуктов с помощью биогеосорбентов, полученных в результате иммобилизации углеводородокисляющих микроорганизмов на глинистых и цеолитовых сорбентах Республики Коми и Мурманской области.

В стендовой секции были представлены следующие доклады:

— Анализ структуры органического вещества углей и горючих сланцев методом термического растворе-



Е. Г. Ожогина (ВИМС, Москва)

E. G. Ozhogina (VIMS, Moscow)

ния в N-метилпирролидоне (И. Н. Бурцев, Н. С. Бурдельная, Д. А. Бушнев, Д. В. Кузьмин — ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар)

— Возможности обогащения угольных шламов Интинской обогатительной фабрики (Д. В. Кузьмин, И. Н. Бурцев, Д. А. Шушков — ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; Б. Д. Федоришин — ТП-ГПК, Инта)

— Содержание структурных элементов-примесей в концентратах кварца хвостов обогащения титановых руд Пижемского месторождения (В. П. Лютоев — ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; О. С. Головатая — СГУ, Сыктывкар)

— Влияние гранулярного состава некондиционных бокситов и красных шламов на их технологические свойства (И. Н. Размыслов — ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар)

Все представленные на секции доклады были междисциплинарными и имели комплексный подход к объекту исследований. Участники секции отметили, что будущее новых технологий добычи и переработки минерального сырья — за междисциплинарными исследованиями, в которых ключевая роль отводится минералогическим критериям оценки труднообогатимых комплексных руд (количественные методы) и высокому уровню экспертизы твердых полезных ископаемых современными аналитическими центрами коллективного пользования.

Д. г.-м. н. О. Б. Котова, к. г.-м. н. Д. А. Шушков  
Фото А. Понарядова

## Секция 11

### История геологических исследований. Геологическое наследие. Геологическое образование



Участники секции «История геологических исследований. Геологическое наследие. Геологическое образование»  
Participants of the section “History of geological research. Geological heritage. Geological formation”

В работе секции приняли участие более 30 сотрудников Института геологии Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар), Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар), Научного архива Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар), Национального музея РК (Сыктывкар), Национальной галереи РК (Сыктывкар), Ухтинского технического университета (Ухта), Института Карпинского (Санкт-Петербург), Геологического музея им. Вернадского (Москва), ЦНИИгеолнеруд (Казань), члены Русского географического общества. Заслушано 20 докладов.

Секцию открыл доклад С. К. Пухонто (ГМ им. Вернадского, Москва) «Этапы научно-геологического изучения территории крайнего северо-востока европейской части России», который был приурочен к 100-летию Печорского угольного бассейна. Были представлены ряд докладов, посвященные выдающимся исследователям Европейского Севера России — Е. С. Федорову, К. Г. Войновского-Кригеру, А. А. Чернову и его ученикам. Особый интерес вызвал доклад А. Н. Сандулы, приуроченный к 95-летию со дня рождения А. И. Елисева. В нем докладчик отразил предвиденные факты развития науки и техники, сделанные А. И. Елисеевым еще в середине XX в. В. И. Силин представил библиографический указатель, который востребован историками науки и краеведами. На примере деятельности А. А. Смилинга отмечена особая роль краеведов в геологическом и геологическом изучении региона.

Серия докладов была посвящена вопросам сохранения уникальных геологических объектов, а также геологических материалов. О. Г. Столова (ЦНИИГеолнеруд, Казань) обозначила проблему естественной утраты об-

нажений по берегам р. Волги. Большая группа ученых сделала сводку о состоянии геологических памятников природы в системе ООПТ Республики Коми и вовлечении объектов геологического наследия Урала, Тимана и южных районов региона в туристическую деятельность.

О геолого-археологических исследованиях на территории Республики Коми рассказал сотрудник Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН А. В. Волокитин. Были озвучены вопросы проведения естественно-научных методов изучения археологических объектов.

На примере работы музеев Республики Коми были обозначены проблемы сохранения каменного материала и популяризации геологических знаний. Выступления сопровождалось выставками, посвященными вкладу Академии наук в развитие минерально-сырьевой базы региона.

Работа секции завершилась презентацией книги В. А. Варсанюфьевой «Печорско-Ыльчский государственный заповедник: времена года», составителями которой являются А. А. Бровина, О. А. Валькова, П. П. Юханов (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Данное издание остается актуальным и сегодня.

В завершении работы участники бурно обсудили доклады и внесли в резолюцию XVIII Геологического съезда особо острые проблемы по сохранению геологического наследия и дальнейшей популяризации геологических знаний.

**К. г.-м. н. И. С. Астахова**  
Фото В. Уляшева



## Новые издания / New publications



Meeting “Jurassic System of Russia: problems of stratigraphy and paleogeography”, representing most actual scientific results obtained during the last years. The investigations deal with different aspects of the Jurassic geology of Russia and adjacent countries — biostratigraphy, facial analysis, sedimentology, palaeogeography and geology of petroleum basins.

**Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии:** Материалы IX Всероссийского совещания с международным участием. Сыктывкар, 9—16 сентября 2023 г. / М. А. Рогов (отв. ред.), Е. В. Щепетова, А. П. Ипполитов, Е. М. Тесакова (ред.). Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2023. 194 с.  
ISBN 978-5-98491-098-9

В сборнике представлены статьи участников IX Всероссийского совещания «Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии», представляющие собой наиболее актуальные научные результаты, полученные в последние годы. Исследования посвящены различным аспектам изучения юрской системы России и стран ближнего зарубежья — биостратиграфии, фациальному анализу, седиментологии, палеогеографии и геологии нефтегазоносных бассейнов.

**Jurassic System of Russia: Problems of stratigraphy and palaeogeography:** Proceedings of the 9th All-Russian Meeting with international participation. Syktyvkar, September 9–16, 2023 / M. A. Rogov (resp. ed.), E. V. Shchepetova, A. P. Ippolitov, E. M. Tesakova (eds). Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2023. 194 pp.

The present issue compiles short papers by participants of the 9th All-Russian



The collection presents proceedings on various issues of geochemistry of organic matter, microelements, modeling of hydrocarbon formation in bituminous and carbonaceous rocks of various ages, and oil shales. The studies of the composition of hydrocarbon biomarkers, the structure of organic matter, and calculating the kinetic characteristics of oil and gas source bituminous rocks are addressed. The collection contains materials on the maceral composition of fossil organic matter and the study of changes in maceral composition during artificial maturation. A number of reports are devoted to the use of spectral methods to study the organic matter of sedimentary rocks.

**Геохимия и петрография угля, горючих сланцев и битуминозных пород:** Материалы Российской научной конференции. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2023. 152 с.

ISBN 978-5-98491-099-6

В сборнике представлены материалы докладов по разнообразным вопросам геохимии органического вещества, микроэлементов, моделированию образования углеводородов в битуминозных и углистых породах различного возраста, горючих сланцах. Затрагиваются вопросы изучения состава углеводородов-биомаркеров, строения органического вещества, расчёта кинетических характеристик нефтегазоматеринских битуминозных пород. В сборнике содержатся материалы о мацеральном составе ископаемого органического вещества и исследовании изменений мацерального состава при искусственном созревании. Ряд сообщений посвящён использованию спектральных методов для изучения органического вещества осадочных пород.

**Geochemistry and petrography of coal, oil shales and bituminous rocks: Proceedings of the Russian Scientific Conference.** Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2023. 152 p.

The collection presents proceedings on various issues of geochemistry of organic



**Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента:** Материалы 32-й научной конференции. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2023. 162 с.

ISBN 978-5-98491-100-9

В сборнике представлены материалы 32-й научной конференции «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента». Обсуждаются вопросы четвертичной геологии, изотопной геохронологии, инженерной геологии, литологии и седиментологии, петрографии, стратиграфии, геологии нефти и газа, геохимии, геофизики, палеонтологии, минералогии и региональной геологии.

**Structure, substance, history of the lithosphere of the Timan-Northern Ural segment:** Proceedings of the 32nd Scientific Conference. Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2023. 162 p.

The collection presents proceedings of the 32nd scientific conference “Structure, substance, history of the lithosphere of the Timan-Northern Ural segment”. Issues of



Quaternary geology, isotope geochronology, engineering geology, lithology and sedimentology, petrography, stratigraphy, oil and gas geology, geochemistry, geophysics, paleontology, mineralogy and regional geology are discussed.



УДК 55+553.042 (470.1)

**Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России:** Материалы XVIII Геологического съезда Республики Коми (10–12 апреля 2024 г., Сыктывкар). Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2024: В 3 т. (Т. I – 90 с., Т. II – 312 с., Т. III. – 284 с.)

ISBN 978-5-98491-104-7

Сборник подготовлен по материалам докладов, представленных участниками XVIII Геологического съезда Республики Коми. Приводятся новые результаты исследований по основным проблемам геологии Европейского Северо-Востока России. В первом томе представлены пленарные доклады и информационные материалы. Во втором томе рассматриваются вопросы стратиграфии и палеонтологии, региональной геологии и тектоники, петрологии, литологии и геохимии, а также истории геологических исследований, образования и просвещения. В третьем томе публикуются материалы по вопросам геологии нефти и газа, месторождений стратегического и экономически важного минерального сырья, минералогии, минерагении, природных и техногенных геосистем, а также по проблемам добычи и переработки минерально-сырьевых ресурсов, использования цифровых технологий.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов в области наук о Земле и смежных наук.

**Geology and mineral resources of the European North-East of Russia:** Proceedings of the 18th Geological Congress of the Komi Republic (April 10–12, 2024, Syktyvkar). Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2024: In 3 volumes (V. I – 90 p., V. II – 312 p., V. III – 284 p.)

The collected papers include reports by participants of the 18th Geological Congress of the Komi Republic. New study results on main problems of the geology of the European North-East of Russia are presented. The first volume presents plenary reports and information materials. The second volume examines issues of stratigraphy and paleontology, regional geology and tectonics, petrology, lithology and geochemistry, as well as the history of geological research and education. The third volume publishes materials on the geology of oil and gas, deposits of strategic and economically important mineral raw materials, mineralogy, minerageny, natural and technogenic geosystems, as well as on the problems of extraction and processing of mineral resources, application of digital technologies.

The book is intended for a wide range of specialists in the field of geosciences and related sciences.

Решение XVIII Геологического съезда Республики Коми будет опубликовано в следующем номере журнала после обсуждения и согласования с представителями геологических организаций и членами организационного комитета съезда.

Редакторы издательства:

О. В. Габова, К. В. Ордин (английский)

Компьютерная верстка

А. Ю. Перетягина

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 31.05.2024. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 6.5. Тираж 140. Заказ 1219. Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Редакция, издательство, типография: издательско-информационный отдел Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Адрес: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: [vestnik@geo.komisc.ru](mailto:vestnik@geo.komisc.ru)  
На обложке использованы фото А. Перетягина, Р. Шайбекова, С. Исаенко, Н. Уляшевой, Ю. Голубевой

**На обложке:** раковина ювенильной особи брюхоногого моллюска (франский ярус девона, Средний Тиман). Фото П. Безносова, оператор СЭМ Е. Тропников.

**On the cover:** shell of a juvenile gastropod (Frasnian stage of the Devonian, Middle Timan). Photo by P. Beznosov, SEM-operator Ye. Tropnikov.

Журнал включен в международные базы цитирования, базы данных ВИНТИ, а также имеет статус журнала ВАК. Распространяется бесплатно

The Journal is included in Russian and International information databases and in the list of Higher Attestation Commission. Free of charge